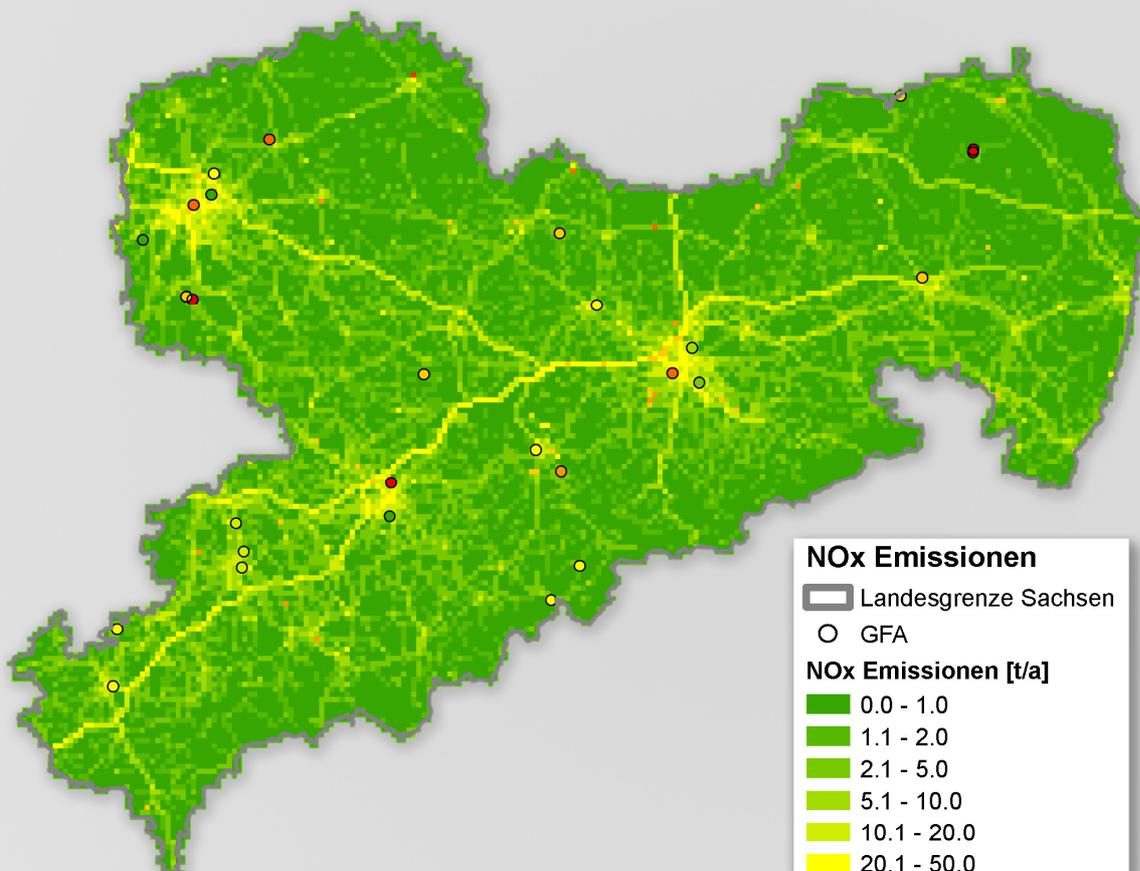




NO₂-Belastung in Sachsen

Schriftenreihe, Heft 5/2011



Tendenzen und Verursacher für die NO₂-Belastung in Sachsen (Endbericht)

Volker Diegmann, Lina Neunhäuserer, Heike Wursthorn, Heinz Steven

1	Einführung und Problemstellung	13
1.1	Einordnung des Vorhabens	13
1.2	Ziele des Vorhabens	13
2	Inhalt des Endberichts	13
3	Trends in den NO₂-Messdaten	14
3.1	Statistische Analyse der sächsischen Daten	14
3.1.1	Datenverfügbarkeit.....	14
3.1.2	Clusteranalyse	17
3.1.3	Trendanalyse auf Stundenwertbasis.....	19
3.2	Vergleich der sächsischen NO ₂ -Messungen mit bundesdeutschen Messdaten	24
3.2.1	Jahresdaten Sachsen	24
3.2.2	Jahresdaten Deutschland	28
3.2.3	Vergleich der Jahresdaten für Sachsen und Deutschland	30
3.2.4	Vergleich zum Romberg-Ansatz	31
3.3	Meteorologische und weitere Einflüsse auf die NO ₂ -Belastung	32
3.3.1	Entwicklung der Ozonwerte und meteorologischen Komponenten im Jahresmittel.....	32
3.3.2	Analyse möglicher Einflussfaktoren	34
3.4	Prüfung eines möglichen Bedarfs für die Weiterentwicklung des sächsischen Luftmessnetzes.....	42
3.4.1	Betrachtetes Messnetz	43
3.4.2	Methodik	44
3.4.3	Ergebnisse.....	47
3.4.4	Auswertung.....	48
4	Verursacher der NO₂-Belastung in Sachsen	50
4.1	Aussagen der Luftreinhaltepläne in Sachsen.....	50
4.2	Analyse der sächsischen Kfz-Flotte, Vergleich mit der Flotte des HBEFA 3.1.....	52
4.2.1	Pkw	52
4.2.2	Leichte Nutzfahrzeuge	60
4.2.3	Schwere Nutzfahrzeuge.....	66
4.3	Zuordnung von Verkehrssituationen gemäß HBEFA 3.1	75
4.3.1	Beschreibung der Verkehrssituationen des HBEFA 3.1.....	75
4.3.2	Zuordnung für die Bergstraße in Dresden und die Lützner Straße in Leipzig	77
4.4	Transitverkehr von schweren Nutzfahrzeugen.....	90
4.5	Literaturrecherche Biodiesel	93
4.6	Emissionsfaktoren für Steigungen größer 6 %.....	94
5	Prognose der Entwicklung bis 2020.....	97
5.1	Aussagen der Luftreinhaltepläne in Sachsen.....	97
5.1.1	Prognose 2010.....	97
5.1.2	Prognose 2015.....	99
5.1.3	Methoden der Prognose in den Luftreinhalteplänen	100
5.1.4	Übersicht über die NO ₂ - und NO _x - Immissionsentwicklung in den Nachbarländern	100
5.2	Prognose der Entwicklung für die Bergstraße und die Lützner Straße	101
6	Maßnahmen zur Minderung der NO₂-Belastung.....	105

6.1	Darstellung möglicher Minderungsmaßnahmen.....	105
6.2	Luftreinhaltemaßnahmen anderer Städte	108
6.2.1	Berlin.....	108
6.2.2	Köln.....	110
6.3	Potenziale und Wirksamkeit eines umweltsensitiven Verkehrsmanagements	111
6.4	Schlussfolgerungen	112
7	Zusammenfassung	113
8	Literaturverzeichnis.....	115

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Datenverfügbarkeit von NO ₂ -Messungen von 1995 bis 2009	16
Abbildung 2:	Anzahl Fehlwerte bei NO ₂ -Messungen von 1995 bis 2009.....	16
Abbildung 3:	Dendrogramm NO (Auswertungszeitraum 2008 – 2009).....	18
Abbildung 4:	Stationen mit aktuellen NO-Messungen	18
Abbildung 5:	Dendrogramm NO (Auswertungszeitraum 2001 – 2009).....	19
Abbildung 6:	Trendanalyse für ausgewählte Stationen für NO _x , NO ₂ und Ozon	21
Abbildung 7:	Trendanalyse für das NO ₂ /NO _x -Verhältnis für Verkehrsstationen	23
Abbildung 8:	Entwicklung des NO ₂ - (oben) und NO _x - (unten) Jahresmittelwerts für verschiedene Stationstypen in Sachsen über den Zeitraum 1995 – 2009.....	25
Abbildung 9:	Relative Entwicklung des NO ₂ - (oben) und NO _x - (unten) Jahresmittelwerts für verschiedene Stationstypen in Sachsen über den Zeitraum 1995 – 2009	26
Abbildung 10:	Relative Entwicklung der NO _x -Jahresmittelwerte für verschiedene Stationstypen im Vergleich zur Entwicklung der NO _x -Emissionen nach HBEFA 3.1 und HBEFA 2.1 über den Zeitraum 1995 - 2009	27
Abbildung 11:	Relative Entwicklung der NO ₂ -Jahresmittelwerte für Verkehrsstationen im Vergleich zur Entwicklung der NO _x -Emissionen und des NO ₂ -Anteils nach HBEFA 3.1	28
Abbildung 12:	Entwicklung der NO ₂ -Jahresmittelwerte für verschiedene Stationstypen im UBA-Datensatz	29
Abbildung 13:	Relative Entwicklung der NO ₂ -Jahresmittelwerte für verschiedene Stationstypen im UBA-Datensatz	29
Abbildung 14:	Vergleich der Entwicklung der NO ₂ -Jahresmittelwerte für verschiedene Stationstypen in Sachsen und im UBA-Datensatz	30
Abbildung 15:	Vergleich des gemessenen NO ₂ /NO _x -Verhältnisses zum Romberg-Ansatz jahresweise gemittelt für verschiedene Stationstypen in Sachsen	31
Abbildung 16:	Verhältnis des NO ₂ /NO _x -Anteils aus Jahresmessungen einzelner Verkehrsstationen zum Rombergansatz gegenüber gemessenen NO ₂ -Jahresmittelwerten in Sachsen	32
Abbildung 17:	Ozon-Jahresmittelwerte für verschiedene Stationstypen für die sächsischen Messungen über den Zeitraum 1995 – 2009.....	33
Abbildung 18:	Entwicklung der Windgeschwindigkeit (rote Linie: Mittelwert, grüne Quadrate: Anzahl der Stationen)	33
Abbildung 19:	Entwicklung der Temperatur (rote Linie: Mittelwert).....	34
Abbildung 20:	Luftbild, Umgebungskarte und Foto der Station Dresden-Bergstraße	35
Abbildung 21:	Luftbild, Umgebungskarte und Foto der Station Leipzig-Lützner Straße	36
Abbildung 22:	Korrelationsmatrix Dresden-Bergstraße	40
Abbildung 23:	Korrelationsmatrix Leipzig-Lützner Straße.....	41
Abbildung 24:	NO _x -Messstationen im Bezugsjahr 2006 ohne verkehrsnahe Stationen	43
Abbildung 25:	NO _x -Emissionen als Summe der Quellen Industrie (ohne GFA), Verkehr, Hausbrand, Kleinverbraucher und Landwirtschaft im 1 km-Raster. NO _x -Emissionen der GFA als Punktquellen.	45
Abbildung 26:	Verteilung der NO _x -Konzentrationen 2006 als Ergebnis der LASAT-Rechnung. Messwerte als farbige Kreise dargestellt.	46
Abbildung 27:	Verteilung der NO _x -Konzentrationen 2006 als Ergebnis der FLADIS-Rechnung: Großräumiger Hintergrund aus Interpolation der bereinigten Messwerte; Messwerte als farbige Kreise dargestellt.	47
Abbildung 28:	Verteilung der NO _x -Konzentrationen 2006 als Ergebnis der FLADIS-Rechnung: Gesamtbelastung als Summe aus großräumigem Hintergrund und Zusatzbelastung aus LASAT; Messwerte als farbige Kreise dargestellt.	48
Abbildung 29:	Kreuzvalidierung, Jahresmittel 2006; Mittlere relative Abweichung an den einzelnen Stationsorten für die verschiedenen in den beiden Zwischenberichten (ZWB1 und ZWB2) verwendeten Ansätze, aufsteigend für reine Interpolation sortiert.	49
Abbildung 30:	Bestandsanteile verschiedener Antriebsarten bei Pkw für das Bezugsjahr 2009 (Quelle: KBA Fz1 2010) Die Fahrleistungsanteile des Handbuchs für Emissionsfaktoren 3.1 sind rechts zum Vergleich mit angegeben.....	54
Abbildung 31:	Bestandsanteile an unterschiedlichen Hubraumklassen bei Pkw für das Bezugsjahr 2009 (Quelle: KBA Fz1 2010).....	56

Abbildung 32:	Bestandsanteile verschiedener Emissionsstufen für Pkw mit Benzinmotor für das Bezugsjahr 2009 (Quelle: KBA Fz1 2010). Die Fahrleistungsanteile des Handbuchs für Emissionsfaktoren 3.1 sind rechts zum Vergleich mit angegeben.	56
Abbildung 33:	Bestandsanteile verschiedener Emissionsstufen für Pkw mit Dieselmotor für das Bezugsjahr 2009 (Quelle: KBA Fz1 2010). Die Fahrleistungsanteile des Handbuchs für Emissionsfaktoren 3.1 sind rechts zum Vergleich mit angegeben.	57
Abbildung 34:	Altersverteilungen von Pkw und LNfz zur Bestimmung der Fahrleistungsanteile für die verschiedenen Eurostufen (abgeleitet aus KBA Fz15 2010)	57
Abbildung 35:	NO _x -Emissionsfaktoren der verschiedenen Emissionsstufen des Handbuchs 3.1 für Pkw	58
Abbildung 36:	NO ₂ -Emissionsfaktoren der verschiedenen Emissionsstufen des Handbuchs 3.1 für Pkw	58
Abbildung 37:	Effektiver NO _x -Emissionsfaktor für unterschiedliche Wichtungen für Benzin/Diesel und Emissionsstufen bei Pkw. Die Wichtungen für Dresden, Leipzig, Sachsen und Deutschland beruhen auf Bestandsanteilen, die Wichtungen für HBEFA 3.1 auf Fahrleistungsanteilen.....	59
Abbildung 38:	Effektiver NO ₂ -Emissionsfaktor für unterschiedliche Wichtungen für Benzin/Diesel und Emissionsstufen bei Pkw. Die Wichtungen für Dresden, Leipzig, Sachsen und Deutschland beruhen auf Bestandsanteilen, die Wichtungen für HBEFA 3.1 auf Fahrleistungsanteilen.....	59
Abbildung 39:	Bestandsanteile verschiedener Fahrzeugkategorien für 2009 für die Städte Dresden und Leipzig, das Land Sachsen und Deutschland gesamt (Quelle: KBA Fz1 2010)	60
Abbildung 40:	Bestandsanteile der beiden Gesamtmassenklassen innerhalb der Kategorie „leichte Nutzfahrzeuge“ für 2009 für die Städte Dresden und Leipzig, das Land Sachsen und Deutschland gesamt (Quelle: KBA Fz1 2010).....	61
Abbildung 41:	Zusammensetzung der LNfz-Klassen (Bestände) nach Emissionsstufen für 2009 (Quelle für D: KBA Fz13 2010).....	61
Abbildung 42:	NO _x -Emissionsfaktoren verschiedener Emissionsstufen von LNfz mit Benzinmotor aus dem HBEFA 3.1 für eine innerstädtische Hauptverkehrsstraße	63
Abbildung 43:	NO _x -Emissionsfaktoren verschiedener Emissionsstufen von LNfz mit Dieselmotor aus dem HBEFA 3.1 für eine innerstädtische Hauptverkehrsstraße	63
Abbildung 44:	NO ₂ -Emissionsfaktoren verschiedener Emissionsstufen von LNfz mit Benzinmotor aus dem HBEFA 3.1 für eine innerstädtische Hauptverkehrsstraße	64
Abbildung 45:	NO ₂ -Emissionsfaktoren verschiedener Emissionsstufen von LNfz mit Dieselmotor aus dem HBEFA 3.1 für eine innerstädtische Hauptverkehrsstraße	64
Abbildung 46:	Effektiver NO _x -Emissionsfaktor für unterschiedliche Wichtungen für Benzin/Diesel und Emissionsstufen bei leichten Nutzfahrzeugen. Die Wichtungen für Dresden, Leipzig und Deutschland beruhen auf Bestandsanteilen, die Wichtungen für HBEFA 3.1 auf Fahrleistungsanteilen.....	65
Abbildung 47:	Effektiver NO ₂ -Emissionsfaktor für unterschiedliche Wichtungen für Benzin/Diesel und Emissionsstufen bei leichten Nutzfahrzeugen. Die Wichtungen für Dresden, Leipzig und Deutschland beruhen auf Bestandsanteilen, die Wichtungen für HBEFA 3.1 auf Fahrleistungsanteilen.....	66
Abbildung 48:	Bestandsanteile von Gesamtmassenklassen innerhalb der schweren Nutzfahrzeuge für 2009 (Quelle: KBA Fz1 2010).....	68
Abbildung 49:	Bestandsanteile von Lkw und Sattelzugmaschinen in 2009 in Sachsen und im Bundesdurchschnitt (Quelle: KBA Fz1 2010)	68
Abbildung 50:	Vergleich der Bestandsanteile verschiedener Gesamtmassenklassen bei den Lkw für 2009 (Quelle: KBA Fz1 2010).....	69
Abbildung 51:	NO _x -Handbuch-Emissionsfaktoren für die verschiedenen Untergruppen von SNfz für 2009.....	69
Abbildung 52:	NO ₂ -Handbuch-Emissionsfaktoren für die verschiedenen Untergruppen von SNfz für 2009	70
Abbildung 53:	Resultierende NO _x -Emissionsfaktoren für SNfz für die Untergruppenanteile aus Abbildung 50 (Bezugsjahr 2009). Die Wichtungen für Dresden, Leipzig, Sachsen und Deutschland beruhen auf Bestandsanteilen, die Wichtungen für HBEFA 3.1 auf Fahrleistungsanteilen.....	70
Abbildung 54:	Resultierende NO ₂ -Emissionsfaktoren für SNfz für die Untergruppenanteile aus Abbildung 50 (Bezugsjahr 2009). Die Wichtungen für Dresden, Leipzig, Sachsen und Deutschland beruhen auf Bestandsanteilen, die Wichtungen für HBEFA 3.1 auf Fahrleistungsanteilen.....	71

Abbildung 55:	Vergleich der Anteile verschiedener Emissionsstufen bei Lkw mit Gesamtmassen bis 7.500 kg (Quelle für D, 2009: KBA Fz13 2010). Die Wichtungen für Dresden, Leipzig und Deutschland beruhen auf Bestandsanteilen, die Wichtungen für HBEFA 3.1 auf Fahrleistungsanteilen.....	71
Abbildung 56:	Vergleich der Anteile verschiedener Emissionsstufen bei Lkw mit Gesamtmassen zwischen 7.501 kg und 12.000 kg (Quelle für D, 2009: KBA Fz13 2010). Die Wichtungen für Dresden, Leipzig und Deutschland beruhen auf Bestandsanteilen, die Wichtungen für HBEFA 3.1 auf Fahrleistungsanteilen.....	72
Abbildung 57:	Vergleich der Anteile verschiedener Emissionsstufen bei Lkw mit Gesamtmassen über 12.000 kg (Quelle für D, 2009: KBA Fz13 2010). Die Wichtungen für Dresden, Leipzig und Deutschland beruhen auf Bestandsanteilen, die Wichtungen für HBEFA 3.1 auf Fahrleistungsanteilen.....	72
Abbildung 58:	Vergleich der Anteile verschiedener Emissionsstufen bei Sattelzügen (Quelle für D, 2009: KBA Fz13 2010). Die Wichtungen für Dresden, Leipzig und Deutschland beruhen auf Bestandsanteilen, die Wichtungen für HBEFA 3.1 auf Fahrleistungsanteilen.....	73
Abbildung 59:	Altersverteilungen von Lkw und Sattelzugmaschinen in Sachsen und dem gesamten Bundesgebiet (Quelle: KBA Fz15 2010)	73
Abbildung 60:	NO _x -Emissionsfaktoren für verschiedene Klassen von schweren Nutzfahrzeugen und unterschiedliche Emissionsstufenanteile. Die Wichtungen für Dresden, Leipzig und Deutschland beruhen auf Bestandsanteilen, die Wichtungen für HBEFA 3.1 auf Fahrleistungsanteilen.....	74
Abbildung 61:	NO ₂ -Emissionsfaktoren für verschiedene Klassen von schweren Nutzfahrzeugen und unterschiedliche Emissionsstufenanteile. Die Wichtungen für Dresden, Leipzig und Deutschland beruhen auf Bestandsanteilen, die Wichtungen für HBEFA 3.1 auf Fahrleistungsanteilen.....	74
Abbildung 62:	Bestands- bzw. Fahrleistungsanteile für verschiedene Klassen von schweren Nutzfahrzeugen für Dresden, Leipzig, Deutschland gesamt und HBEFA 3.1. Die Wichtungen für Dresden, Leipzig und Deutschland beruhen auf Bestandsanteilen, die Wichtungen für HBEFA 3.1 auf Fahrleistungsanteilen.....	75
Abbildung 63:	Fundamentaldiagramm mit Zuordnung der 4 level of service (Bild aus IQ MOBILITY 2008)	77
Abbildung 64:	Zusammensetzung der Lkw bis 7.5 t zul. Gesamtmasse nach Emissionsstufen (basierend auf Fahrleistungen).....	90
Abbildung 65:	Zusammensetzung der Lkw von 14 t bis 20 t zul. Gesamtmasse nach Emissionsstufen (basierend auf Fahrleistungen).....	91
Abbildung 66:	Zusammensetzung der Last- und Sattelzüge von 34 t bis 40 t zul. Gesamtmasse nach Emissionsstufen (basierend auf Fahrleistungen).....	91
Abbildung 67:	NO _x -Emissionen der Lkw bis 7.5 t zul. Gesamtmasse nach Emissionsstufen.....	92
Abbildung 68:	NO _x -Emissionen der Lkw von 14 t bis 20 t zul. Gesamtmasse nach Emissionsstufen	92
Abbildung 69:	NO _x -Emissionen der Last- und Sattelzüge von 34 t bis 40 t zul. Gesamtmasse nach Emissionsstufen	93
Abbildung 70:	Verhältnis der NO _x -Emissionsfaktoren bei unterschiedlichen Längsneigungen gegenüber der ebenen Straße für unterschiedliche Verkehrssituationen bei Pkw.....	95
Abbildung 71:	Verhältnis der NO _x -Emissionsfaktoren bei unterschiedlichen Längsneigungen gegenüber der ebenen Straße für unterschiedliche Verkehrssituationen bei leichten Nutzfahrzeugen	95
Abbildung 72:	Verhältnis der NO _x -Emissionsfaktoren bei unterschiedlichen Längsneigungen gegenüber der ebenen Straße für unterschiedliche Verkehrssituationen bei schweren Nutzfahrzeugen	96
Abbildung 73:	Verhältnis der NO _x -Emissionsfaktoren bei unterschiedlichen positiven Längsneigungen gegenüber der ebenen Straße für unterschiedliche Verkehrssituationen bei schweren Nutzfahrzeugen	96
Abbildung 74:	NO ₂ -Jahresmittelwerte 1997 – 2007, gemittelt über die Messwerte der städtischen und vorstädtischen Hintergrundstationen der EEA-Mitgliedsstaaten mit Ausnahme von Zypern, Island, Liechtenstein, Luxemburg, Malta, Norwegen und der Türkei. Copyright: EEA, COPENHAGEN (2009)	101
Abbildung 75:	Vergleich von Prognosen der NO _x -Emissionsentwicklung für die Bergstraße in Dresden (links absolut, rechts relativ)	103
Abbildung 76:	Vergleich von Prognosen der NO _x -Emissionsentwicklung für die Lützner Straße in Leipzig (links absolut, rechts relativ).....	104
Abbildung 77:	Vergleich von Prognosen der NO ₂ -Emissionsentwicklung für die Bergstraße in Dresden (links absolut, rechts relativ)	104
Abbildung 78:	Vergleich von Prognosen der NO ₂ -Emissionsentwicklung für die Lützner Straße in Leipzig (links absolut, rechts relativ).....	104

Abbildung 79:	Emissionsfaktoren für NO _x und NO ₂ für die Neigungswerte von -6 % bis 6 % an der Bergstraße im Bezugsjahr 2010 mit Angabe eines approximierten Polynoms 3. Grades zur Extrapolation der Faktoren	105
Abbildung 80:	Quellgruppen – Anteile der Maßnahmen	106
Abbildung 81:	Handlungsfelder der Quellgruppe Kfz-Verkehr – Anteile der Maßnahmen	106
Abbildung 82:	Minderung der NO _x -Emissionen bei einer Reduktion von Tempolimits im Großraum Graz; aus: LAND STEIERMARK (2009).....	108
Abbildung 83:	Methodik und Ergebnisse der Evaluierung der Wirkungen der Umweltzone in Berlin. Aus: SENAT BERLIN (2009)	110
Abbildung 84:	Messstellen in der Innenstadt von Köln; aus: LANUV (2009)	111

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Mittelwert und Verfügbarkeit für NO ₂ -Messungen der Messstationen im Zeitraum 1995 bis 2009	15
Tabelle 2:	Messstationen Verkehr mit zugehöriger Hintergrundstation und Entfernung zwischen den Stationen	37
Tabelle 3:	Verkehrszählstellen mit zugehörigen Messzeiträumen und Verkehrsdaten.....	38
Tabelle 4:	Beschreibung der Variablennamen in den Korrelationsmatrizen	39
Tabelle 5:	Namen der verwendeten Messstationen mit Code und Typisierung.....	43
Tabelle 6:	Emissionshöhe, emittierte Masse und Anteil der einzelnen Quellgruppen	46
Tabelle 7:	Root mean square error und mittlere relative Abweichung der Kreuzvalidierung für die FLADIS- Ergebnisse.....	49
Tabelle 8:	Luftreinhaltepläne in Sachsen	50
Tabelle 9:	Verursacherbezogene Quellanalyse für NO _x bzw. NO ₂	51
Tabelle 10:	Bestandsanteile Benzin/Diesel/Sonstige bei Pkw für das Bezugsjahr 2009 (Quelle: KBA Fz1 2010).....	53
Tabelle 11:	Bestandsanteile an unterschiedlichen Hubraumklassen bei Pkw für das Bezugsjahr 2009 (Quelle: KBA Fz1 2010).....	55
Tabelle 12:	Bestandsanteile verschiedener Antriebsarten für LNfz in 2009 (Quelle: KBA Fz13 2010).....	62
Tabelle 13:	Anteile verschiedener Klassen von LNfz im Handbuch für Emissionsfaktoren (HBEFA 3.1, Fahrleistungen) und in der KBA-Statistik (Bestand)	65
Tabelle 14:	Schema der Straßentypen/Verkehrssituationen des HBEFA 3.1	76
Tabelle 15:	Kennwerte der Fahrzyklen für den Straßentyp „Agglomeration, Hauptverkehrsstraße“ für die vier Verkehrszustände.....	78
Tabelle 16:	Bergstraße, Kennwerte der Fahrzyklen aus den Fahrverhaltensuntersuchungen der TU Dresden für die vier Straßenabschnitte (Fahrtrichtung 1: stadtauswärts; Fahrtrichtung 2: stadteinwärts)	79
Tabelle 17:	Reisegeschwindigkeiten	80
Tabelle 18:	Fahrgeschwindigkeiten	80
Tabelle 19:	v*a	80
Tabelle 20:	Abschnitt 1 Richtung I (auswärts), Zeit von 15:00 Uhr bis 19:00 Uhr	81
Tabelle 21:	Abschnitt 1 Richtung I (auswärts), Zeit von 19:00 Uhr bis 15:00 Uhr	81
Tabelle 22:	Abschnitt 2 Richtung I (auswärts), Zeit von 15:00 Uhr bis 19:00 Uhr	82
Tabelle 23:	Abschnitt 2 Richtung I (auswärts), Zeit von 19:00 Uhr bis 15:00 Uhr	82
Tabelle 24:	Abschnitt 3 Richtung I, (auswärts).....	82
Tabelle 25:	Abschnitt 4 Richtung I (auswärts)	83
Tabelle 26:	Abschnitt 1 Richtung II (einwärts), Zeit von 01:00 Uhr bis 04:00 Uhr	83
Tabelle 27:	Abschnitt 1 Richtung II (einwärts), Zeit von 06:00 Uhr bis 09:00 Uhr	83
Tabelle 28:	Abschnitt 1 Richtung II (einwärts), Zeit von 15:00 Uhr bis 19:00 Uhr	84
Tabelle 29:	Abschnitt 1 Richtung II (einwärts), Zeit von 04:00 Uhr bis 06:00 Uhr, und von 09:00 Uhr bis 15:00 Uhr, und von 19:00 Uhr bis 01:00 Uhr.....	84
Tabelle 30:	Abschnitt 2 Richtung II, (einwärts) Zeit von 01:00 Uhr bis 04:00 Uhr.....	84
Tabelle 31:	Abschnitt 2 Richtung II (einwärts), Zeit von 06:00 Uhr bis 09:00 Uhr	85
Tabelle 32:	Abschnitt 2 Richtung II (einwärts), Zeit von 15:00 Uhr bis 19:00 Uhr	85
Tabelle 33:	Abschnitt 2 Richtung II (einwärts), Zeit von 04:00 Uhr bis 06:00 Uhr, und von 09:00 Uhr bis 15:00 Uhr, und von 19:00 Uhr bis 01:00 Uhr.....	85
Tabelle 34:	Abschnitt 3 Richtung II (einwärts), Zeit von 01:00 Uhr bis 04:00 Uhr	86
Tabelle 35:	Abschnitt 3 Richtung II (einwärts), Zeit von 06:00 Uhr bis 09:00 Uhr	86
Tabelle 36:	Abschnitt 3 Richtung II (einwärts), Zeit von 15:00 Uhr bis 19:00 Uhr	86
Tabelle 37:	Abschnitt 3 Richtung II (einwärts), Zeit von 04:00 Uhr bis 06:00 Uhr, und von 09:00 Uhr bis 15:00 Uhr und von 19:00 Uhr bis 01:00 Uhr.....	87
Tabelle 38:	Abschnitt 4 Richtung II (einwärts), Zeit von 01:00 Uhr bis 04:00 Uhr	87
Tabelle 39:	Abschnitt 4 Richtung II (einwärts), Zeit von 06:00 Uhr bis 09:00 Uhr	87
Tabelle 40:	Abschnitt 4 Richtung II (einwärts), Zeit von 15:00 Uhr bis 19:00 Uhr	88
Tabelle 41:	Abschnitt 4 Richtung II (einwärts), Zeit von 04:00 Uhr bis 06:00 Uhr, und von 09:00 Uhr bis 15:00 Uhr und von 19:00 Uhr bis 01:00 Uhr.....	88

Tabelle 42:	Reisegeschwindigkeiten	89
Tabelle 43:	Fahrgeschwindigkeiten	89
Tabelle 44:	v*a	89
Tabelle 45:	Prognose 2010 bzw. 2011 als Zitat der Luftreinhaltepläne	98
Tabelle 46:	Prognose 2015 als Zitat der Luftreinhaltepläne	99
Tabelle 47:	Übersicht der verwendeten Parameter zur Emissionsberechnung für die Bergstraße in Dresden und Lützner Straße in Leipzig (Parametrisierung nach IMMIS ^{em} 5.0 (IVU UMWELT 2010)).....	102
Tabelle 48:	Übersicht über die gerechneten Szenarien.....	102
Tabelle 49:	Rangordnung der Maßnahmen nach Häufigkeit – Top 10	107

Abkürzungsverzeichnis

a	Beschleunigung
AP	Aktionsplan
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
BJ	Bezugsjahr
BTL	Biomass-to-Liquid
bzw.	beziehungsweise
ECE regulations	International vereinbarte, einheitliche technische Vorschriften für Fahrzeuge, Teile und Ausrüstungsgegenstände von Kraftfahrzeugen
EEA	European Environment Agency
EEV	extra low emission vehicles, Fahrzeuge mit sehr niedrigen Schadstoffemissionen
EGR	exhaust gas recirculation - Abgasrückführung, Technologie zur Minderung von Stickoxiden im Abgas
Eol	Exchange of Information; Informationsaustausch Luftqualität innerhalb der EU (2001/752/EG)
EU	Europäische Union
EURO x	EURO 1 bis EURO 6, EURO I bis EURO VI; Abgasnormen
FT	Ferntransport
FuE	Forschung und Entwicklung
GFA	Großfeuerungsanlage
H	Hessen
Haus	Hausbrand
HBEFA 2.1	Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs Version 2.1
HBEFA 3.1	Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs Version 3.1
HBEFA	Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs
Hum	relative Feuchte
Ind	Industrie – Gewerbe - Großfeuerungsanlagen
k. A.	keine Angabe
Kap.	Kapitel
KBA	Kraftfahrt-Bundesamt
Kfz	Kraftfahrzeug
Klein	Kleinverbraucher
Land	Landwirtschaft
LANUV	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
LDV	light duty vehicles (leichte Nutzfahrzeuge)
LfUG	Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (bis 01.08.2008)
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (seit 01.08.2008)
LKW	Lastkraftwagen
LNfz	Leichte Nutzfahrzeuge
LOS	level of service
LRP	Luftreinhalteplan
LSA	Lichtsignalanlage
LUQS	Luftqualitätsüberwachungssystem des Landes Nordrhein-Westfalen
MIV	Motorisierter Individualverkehr
N	Niedersachsen
NEC	National Emission Ceilings
NL	Niederlande
NO	Stickstoffmonoxid
NO ₂	Stickstoffdioxid
NO _x	Stickstoffoxid
NRW	Nordrhein-Westfalen
O ₃	Ozon
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr

ÖV	Öffentlicher Verkehr
Pkw	Personenkraftwagen
PM10	Partikel (Particulate Matter) <10 µm (aerodynamischer Durchmesser)
Pre	Luftdruck
p_stop	prozentualer Anteil Stillstand
Rad	Strahlung
RB	Regierungsbezirk
RL	Richtlinie
RME	Rapsölmethylester
RP	Regierungspräsidium
RPA	relative positive acceleration
RT	rigid truck (Solo-Lkw)
SCR	selektive katalytische Reduktion von Stickstoffoxiden in Abgasen
SNfz	Schwere Nutzfahrzeuge
SpLimit	speed limit (erlaubte Höchstgeschwindigkeit)
std_dev_v	Standardabweichung der Geschwindigkeit
Sum	Summe
Tem	Temperatur
TT/AT	trailer truck/articulated truck (Lkw mit Anhänger/Sattelzüge)
u. a.	unter anderem
UBA	Umweltbundesamt
ÜS	Überschreitung
UVM	Umweltsensitives Verkehrsmanagement
v	Geschwindigkeit
v_10	10%-Perzentil der Geschwindigkeitsverteilung
v_25	25%-Perzentil der Geschwindigkeitsverteilung
v_75	75%-Perzentil der Geschwindigkeitsverteilung
v_90	90%-Perzentil der Geschwindigkeitsverteilung
v_ave	Mittlere Geschwindigkeit
v_max	Maximale Geschwindigkeit
VBA	Verkehrsbeeinflussungsanlagen
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
veh	vehicles (Fahrzeuge)
VS	Verkehr Sonstige (Flugverkehr, Schifffahrt, Schienenverkehr)
vs.	versus
WHDC	worldwide harmonised heavy duty diesel engine type approval test procedure
WiG	Windgeschwindigkeit
WiR	Windrichtung
WMTC	worldwide harmonised motorcycle type approval test procedure
zul.	zulässig

1 Einführung und Problemstellung

1.1 Einordnung des Vorhabens

Das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) ist u. a. zuständig für die Überwachung der Luftqualität und die Prüfung von Maßnahmen zur Einhaltung von Grenzwerten bzw. zur Verminderung von Luftverunreinigungen.

Die NO₂-Belastung in Sachsen liegt in den drei Ballungsräumen Dresden, Chemnitz und Leipzig über den Grenzwerten für 2010 bzw. über den bis 2010 geltenden Grenzwerten inklusive der Toleranzmarge. Diese Überschreitungen sind neben den Grenzwertüberschreitungen bei PM₁₀ die Auslöser für die Aufstellung von Luftreinhalteplänen. Die Luftreinhaltepläne müssen verhältnismäßige und verursachergerechte Maßnahmen zur Minderung der Belastung bis zur Einhaltung der Grenzwerte beinhalten.

Als Hauptverursacher für die NO₂-Belastung gilt der Straßenverkehr. Durch die Entwicklung der Motortechnik und der Abgasnachbehandlung sind bisher nicht ausreichend untersuchte Einflüsse auf die direkten NO₂-Emissionen und damit die Belastungen an verkehrsreichen Straßen entstanden. Die weitere Entwicklung auf technischem Gebiet und die Auswirkungen auf die Immissionsbelastung sind daher abzuschätzen. Nur so können weitere zielführende Maßnahmen in Luftreinhalteplänen erkannt und modelliert werden.

1.2 Ziele des Vorhabens

Um die NO₂-Belastung und ihre Entwicklung in Sachsen zu analysieren, wurde vom Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie das FuE-Vorhaben "Tendenzen und Verursacher für die NO₂-Belastung in Sachsen" initiiert, zu dem mit diesem Text der Endbericht vorliegt. Die Ziele des Vorhabens sind:

- Ermittlung der Tendenzen für die NO₂-Belastung in Sachsen im Vergleich zum bundesdeutschen Trend
- Ermittlung der wesentlichen Verursacher für die NO₂-Belastung in Sachsen
- Prognose der Entwicklung bis 2020
- Schlussfolgerungen für Maßnahmen zur Minderung der NO₂-Belastung.

2 Inhalt des Endberichts

Der Endbericht gibt einen Überblick über die gesamten Arbeiten im Projekt „Tendenzen und Verursacher für die NO₂-Belastung in Sachsen“. Er basiert auf den beiden zum Projekt bereits vorgelegten Zwischenberichten (IVU UMWELT (2009A) und IVU UMWELT (2009B)) und führt die dort durchgeführten Arbeiten mit aktuellen Daten weiter. Zudem greift er die Ergebnisse aus den beiden Zwischenberichten noch einmal auf und gibt sie, ggf. zusammengefasst, wieder.

Ein wesentlicher Schwerpunkt der Arbeiten lag in der Ermittlung der Tendenzen für die NO₂-Belastung in Sachsen auf der Basis von Messdaten (Kapitel 3). Dazu wurden folgende Aspekte untersucht:

- statistische Analyse der sächsischen Daten auf Stundenwertbasis
- Vergleich der sächsischen NO₂-Messungen mit bundesdeutschen Messdaten und mit dem Romberg-Ansatz
- Analyse des Einflusses meteorologischer Daten, verkehrlicher Faktoren und der Ozonchemie auf die NO₂-Zusatzbelastung
- Prüfung eines möglichen Bedarfs für die Weiterentwicklung des sächsischen Luftmessnetzes

In Ergänzung zur statistischen Analyse der sächsischen Daten in Kapitel 3 wurden die vollständigen Auswertungen zur Trendanalyse im Anlagenband zum Endbericht zusammengestellt.

Ein weiterer Schwerpunkt war die Analyse der sächsischen Kfz-Bestandsdaten im Hinblick auf Kraftfahrzeugtechnik und Abgasminderungstechnologien sowie im Vergleich mit den Flottenzusammensetzungen des neuen Handbuchs für Emissionsfaktoren (HBEFA 3.1, INFRAS (2010)) in Kapitel 4. Im Zusammenhang damit wurden auch der Einfluss von Transitverkehr, Biodiesel und Steigungen > 6 % auf die NO_x-Emissionen untersucht. Autor der Kapitel 4.2 bis 4.6 ist Heinz Steven (TÜV Nord).

Weiterhin wurden die Aussagen der in Sachsen bis zum 31.08.2010 veröffentlichten Luftreinhaltepläne zur Quellanalyse für die NO₂-Belastung (Kapitel 4.1) und hinsichtlich ihrer Prognosen zur Entwicklung der NO₂-Belastung bis 2015 (Kapitel 5.1) analysiert. Am Beispiel zweier Hotspots, Dresden-Bergstraße und Leipzig-Lützner Straße, wurde der Einfluss der Emissionsdatenbasis (HBEFA 2.1 und HBEFA 3.1) und der Flottenzusammensetzung auf die berechnete NO_x- und NO₂-Emissionsentwicklung bis 2020 untersucht.

In Kapitel 6 werden mögliche Maßnahmen zur Minderung der NO₂-Belastung dargestellt sowie erste Erkenntnisse aus den Luftreinhaltemaßnahmen anderer Städte und Potenziale und Wirksamkeit eines umweltsensitiven Verkehrsmanagements beschrieben.

Damit liefert der Bericht eine vertiefte Analyse der Charakteristik und der Trends der sächsischen NO_x-Messungen über einen Zeitraum von 15 Jahren, von 1995 bis 2009, sowie fundierte Aussagen zur räumlichen Repräsentativität der Messstationen im sächsischen Luftmessnetz. Er gibt eine ausführliche Analyse des sächsischen Kfz-Bestandes und eine detaillierte Darstellung der Aktualisierung der Emissionsdatenbasis HBEFA für NO₂ und NO_x sowie Abschätzungen über die Auswirkungen der Aktualisierung auf die Prognose der NO₂-Belastung in Sachsen.

3 Trends in den NO₂-Messdaten

3.1 Statistische Analyse der sächsischen Daten

Der Freistaat Sachsen betreibt zur Überwachung und Beurteilung der Luftqualität ein stationäres Luftgütemessnetz mit ca. 30 Messstationen. Erfasst werden an diesen Stationen u. a. die Konzentrationen von

- Stickstoffoxiden (NO_x, NO₂ und NO)
- Ozon (O₃).

Zusätzlich werden an allen Stationen auch meteorologische Komponenten gemessen.

Im 1. Zwischenbericht (IVU UMWELT (2009A)) zum Projekt wurden für die vom Auftraggeber bereitgestellten Messdaten der letzten Jahre Cluster- und Trendanalysen auf Stundenwertbasis durchgeführt. Dabei wurden die Stationen mittels Clusteranalyse nach unterschiedlichen Merkmalen differenziert. Die Ergebnisse der Clusteranalyse wurden mit der Stationsklassifizierung gemäß EoI abgeglichen. Bei der Trendanalyse wurde eine differenzierte Betrachtung von NO_x, NO₂ und Ozon durchgeführt sowie das Verhältnis von NO₂ zu NO_x untersucht. Diese Analysen werden im vorliegenden Endbericht, ergänzt um die Messdaten 2008 und 2009, wiederholt.

3.1.1 Datenverfügbarkeit

Für die Datenauswertung wurden Messzeitreihen aus den Jahren 1995 bis 2009 ausgewertet. Tabelle 1 zeigt für den Stoff NO₂ die Liste der 2009 in Betrieb befindlichen Messstationen, für die im Untersuchungszeitraum 01.01.1995 – 31.12.2009 Daten vorlagen, mit EoI-Klassifizierung, Messbeginn, Mittelwert über den angegebenen Zeitraum sowie die Anzahl der verfügbaren Werte bzw. deren Anteil bezogen auf den Untersuchungszeitraum. Die Messdaten lagen in stündlicher Auflösung vor.

Die Datenverfügbarkeit für NO₂ ist in Abbildung 1 dargestellt. Sortierkriterium der Stationen entlang der Abszisse ist dabei der Mittelwert der NO₂-Immissionen über den Untersuchungszeitraum. Fehlwerte sind rot kodiert, die Graustufen bilden die Stundenwerte der gemessenen Konzentrationen ab. Abbildung 2 veranschaulicht die Anzahl der Fehlwerte der einzelnen Stationen.

Tabelle und Abbildungen zeigen, dass im Jahr 2001 eine (Leipzig-Lützner Str.) und im Jahr 2005 zwei (Chemnitz-Leipziger Str., Dresden-Bergstr.) Verkehrsmessstationen in Betrieb gingen, die im Mittel mit die höchsten NO₂-Werte messen. In Abbildung 1 kann anhand der Verteilung der roten Fehlwertbalken über die Zeitachse die Verlegung der städtischen Hintergrundstation in Dresden vom Postplatz über die Straße An der Herzogin Garten zur Winckelmannstraße nachvollzogen werden. Zudem wird deutlich, dass mit Verlegung der Verkehrsmessstelle in Zwickau vom Dr.-Friedrichs-Ring in die Werdauer Straße eine der seit 1995 kontinuierlich über den gesamten Untersuchungszeitraum messenden Stationen verlorengeht.

Tabelle 1: Mittelwert und Verfügbarkeit für NO₂-Messungen der Messstationen im Zeitraum 1995 bis 2009

Stationsname	Kürzel	Höhe (m)	Eol Gebietstyp	Eol Stationstyp	Mess-beginn	Mittelwert (µg/m ³)	verfügbare Werte	verfügb. Anteil (%)
Annaberg-Buchholz	Annaberg-R	545	urban	Hintergrund	01.09.1994	29.1	125941	95.8
Bautzen	Bautzen-U	203	urban	Hintergrund	01.09.1994	25.4	126315	96.1
Borna	Borna-V	145	urban	Verkehr	01.09.1994	35.0	125565	95.5
Chemnitz-Leipziger Str.	ChmtzLpz-V	327	urban	Verkehr	01.01.2005	55.8	41234	31.4
Chemnitz-Mitte	ChmtzMit-U	300	urban	Hintergrund	01.12.1990	30.4	124257	94.5
Chemnitz-Nord	ChmtzNor-V	296	urban	Verkehr	01.09.1994	38.4	125927	95.8
Collmburg	Collm-R	313	rural abgel.	Hintergrund	01.10.1998	12.5	95054	72.3
Delitzsch	Delitzsc-U	100	urban	Hintergrund	01.09.1994	24.5	125823	95.7
Dresden-Bergstr.	DrdnBerg-V	150	urban	Verkehr	01.01.2005	55.1	41176	31.3
Dresden-Nord	DrdnNord-V	112	urban	Verkehr	01.09.1994	45.3	123891	94.2
Dresden-Winckelmannstr.	DDWinck-U	112	urban	Hintergrund	20.06.2008	23.8	13201	10.0
Freiberg	Freiberg-U	393	urban	Hintergrund	01.09.1994	30.7	126382	96.1
Glauchau	Glauchau-U	233	urban	Hintergrund	01.09.1994	28.3	125598	95.5
Görlitz	Goerlitz-V	210	urban	Verkehr	01.09.1994	31.1	124334	94.6
Hoyerswerda	Hoywerda-U	117	urban	Hintergrund	01.09.1994	18.4	125510	95.4
Klingenthal	Klinthal-U	540	urban	Hintergrund	01.09.1994	18.5	126198	96.0
Leipzig-Lützner Str.	LpzLuet-V	110	urban	Verkehr	01.01.2001	46.9	57568	43.8
Leipzig-Mitte	LpzMit-V	110	urban	Verkehr	01.12.1990	48.2	123408	93.8
Leipzig-West	LpzWest-U	115	urban	Hintergrund	01.09.1994	22.5	125957	95.8
Plauen-Süd	Plausued-V	343	urban	Verkehr	06.08.1998	32.5	95758	72.8
Radebeul-Wahnsdorf	RadeWahn-RU	246	rural stadtnah	Hintergrund	01.12.1967	18.3	122479	93.1
Schwartenberg	Schwarbg-R	787	rural abgel.	Hintergrund	06.02.1998	12.3	100961	76.8
Zinnwald	Zinnwald-R	877	rural reg.	Hintergrund	01.05.1978	12.6	122720	93.3
Zittau-Ost	ZittOst-UR	230	vorurban	Hintergrund	01.07.1990	15.9	125043	95.1
Zwickau-Werdauer Str.	ZwickauW-V	267	urban	Verkehr	01.02.2008	33.9	16620	12.6

Farblegende
Verkehr
Städtisch Hintergrund
Vorstädt. Hintergrund
Ländlich stadtnah
Ländlich abgelegen/regional

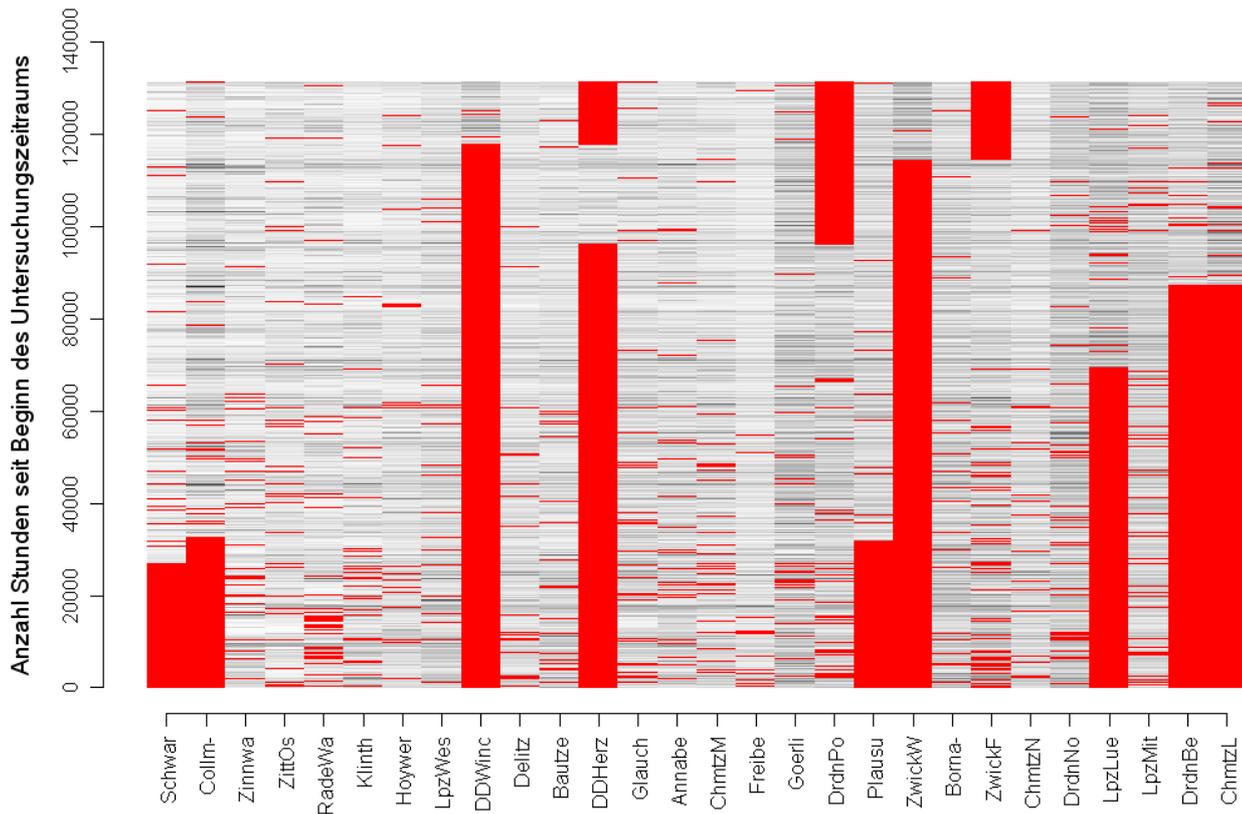


Abbildung 1: Datenverfügbarkeit von NO₂-Messungen von 1995 bis 2009

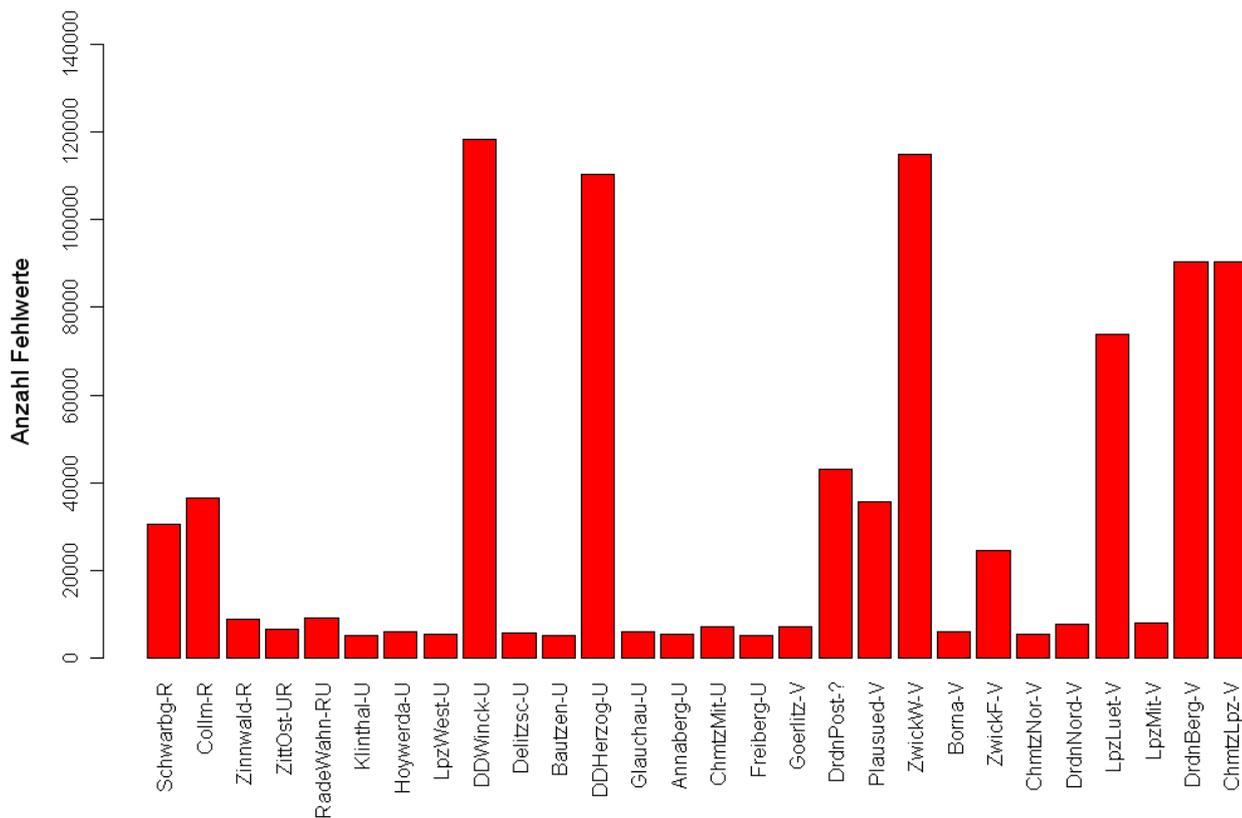


Abbildung 2: Anzahl Fehlwerte bei NO₂-Messungen von 1995 bis 2009

3.1.2 Clusteranalyse

Im 1. Zwischenbericht (IVU UMWELT (2009A)) zum Projekt wurde die Clusteranalyse auf die Stoffe NO, NO₂ und Ozon sowie auf das NO₂/NO_x-Verhältnis angewendet. Es zeigte sich, dass die Clusteranalyse für NO gut die Stationsklassifizierung nach Eol abbildet, ebenso, wenn auch nicht ganz so differenziert, die Clusteranalyse über das NO₂/NO_x-Verhältnis. Clusteranalysen für NO₂ und Ozon erbrachten hingegen weniger aussagefähige Ergebnisse. Insbesondere die Ozon-Cluster verwiesen eher auf räumliche als auf verkehrliche Strukturen. Aus diesem Grund werden im vorliegenden Endbericht die Clusteranalysen nur für NO mit aktualisierter Datengrundlage wiederholt.

3.1.2.1 Hierarchische Clusteranalyseverfahren

Mit Hilfe einer Clusteranalyse wurden die Messstationen auf der Basis ihrer stundenfein aufgelösten Messzeitreihen differenziert. Eine Clusteranalyse der Zeitreihen einer Größe – hier der gemessenen Konzentrationen – deckt ähnliche Strukturen in den Zeitreihen auf. In der vorliegenden Untersuchung wurde das hierarchische Clusteranalyseverfahren unter Verwendung der euklidischen Distanz eingesetzt. Dazu wurde die Open-Source-Software "R" (R DEVELOPMENT CORE TEAM (2007)) verwendet.

Im ersten Schritt der Clusteranalyse werden die euklidischen Distanzen zwischen allen Elementen, hier die Messzeitreihen der Stationen, untereinander berechnet. Die euklidische Distanz ist im allgemeinen Fall des n-dimensionalen euklidischen Raums definiert durch die euklidische Norm des Differenzvektors zwischen zwei Elementen A und B, d. h.:

$$\text{dist}(A,B) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i - b_i)^2}$$

Im vorliegenden Fall entspricht n der Anzahl der Messwerte der Zeitreihen im Untersuchungszeitraum. a_i bzw. b_i entspricht dem Messwert der Zeitreihe A bzw. B zu jedem Eintrag der Zeitreihe.

Im zweiten Schritt werden die beiden Elemente (hier Zeitreihen) mit der kleinsten Distanz zu einem Cluster verschmolzen, und als Position des Clusters wird der Schwerpunkt der beiden Elemente berechnet. Diese beiden Schritte werden so oft durchgeführt, bis alle Elemente zu einer gewünschten Anzahl von Clustern oder ggf. zu einem einzigen Cluster verschmolzen sind. Die auf diese Weise entstandene Baumstruktur wird in der Regel mit einem Dendrogramm visualisiert.

3.1.2.2 NO-Zeitreihen

Das Dendrogramm der Clusteranalyse für NO ist in Abbildung 3 dargestellt. Der Auswertungszeitraum umfasst eineinhalb Jahre, vom 20.06.2008 bis 31.12.2009. Der Beginn des Auswertungszeitraums entspricht dem Messbeginn an der Station Dresden-Winkelmannstraße. In die Clusteranalyse gehen nur Stunden ein, zu denen für alle betrachteten Stationen Messwerte vorliegen. Der Auswertungszeitraum wurde daher zunächst so gewählt, dass alle Stationen, die im Jahr 2009 NO messen, in der Clusteranalyse betrachtet werden können. Abbildung 4 zeigt die Lage und die Eol-Klassifizierung dieser Stationen.

Die Clusteranalyse trennt die Verkehrsstationen sehr deutlich von den anderen Stationen (Abbildung 3, roter Kasten rechts), was dem Ergebnis aus dem 1. Zwischenbericht entspricht. Auffällig ist, dass die Verkehrsstation Dresden-Bergstraße an einem eigenen Ast dargestellt wird (Abbildung 3, rote Ellipse oben links), während sie im 1. Zwischenbericht an einen Unterast mit der Verkehrsstation Chemnitz-Leipziger Straße eingeordnet wurde. Damit weist die Station Dresden-Bergstraße im Jahr 2009, welches einen Großteil des Auswertungszeitraums einnimmt, eine deutlich andere Charakteristik auf. Dazu passt, dass die Station Dresden-Bergstraße die höchsten Stickoxid-Jahresmittelwerte 2009 aufweist, während sie im langjährigen Mittel an zweiter Stelle hinter der Station Chemnitz-Leipziger Straße steht (Tabelle 1).

Die ländlichen Messstationen und Übergangstationen (ländlich stadtnah und vorstädtischer Hintergrund) finden sich an zusammenhängenden Ästen (Abbildung 3, roter Kasten links), in enger Nachbarschaft mit städtischen Hintergrundstationen, die im Jahresmittel eher niedrige oder mittlere Stickoxid-Werte aufweisen. Die vier städtischen Hintergrundstationen mit den höchsten NO₂-Jahresmittelwerten (Tabelle 1, Abbildung 1), Freiberg, Annaberg-Buchholz, Chemnitz-Mitte und Glauchau, bilden einen eigenen Ast (Abbildung 3, roter Kasten Mitte), der im 1. Zwischenbericht noch durch die mittlerweile verlegte Verkehrsstation Zwickau-Dr.-Friedrichs-Ring ergänzt wurde. Für die Station Chemnitz-Mitte ist davon auszugehen, dass sie den

Hintergrund des Erzgebirgsvorlands aufgrund lokaler Einflüsse etwas höher abbildet, als dies vermutlich der Realität entspricht. Die anderen drei Stationen sind zwar als städtische Hintergrundstationen klassifiziert, liegen aber verkehrsnah.

Die Ergebnisse der aktuellen Clusteranalyse für NO stimmen wie im 1. Zwischenbericht gut mit der EoI-Klassifizierung überein.



Abbildung 3: Dendrogramm NO (Auswertungszeitraum 2008 – 2009)

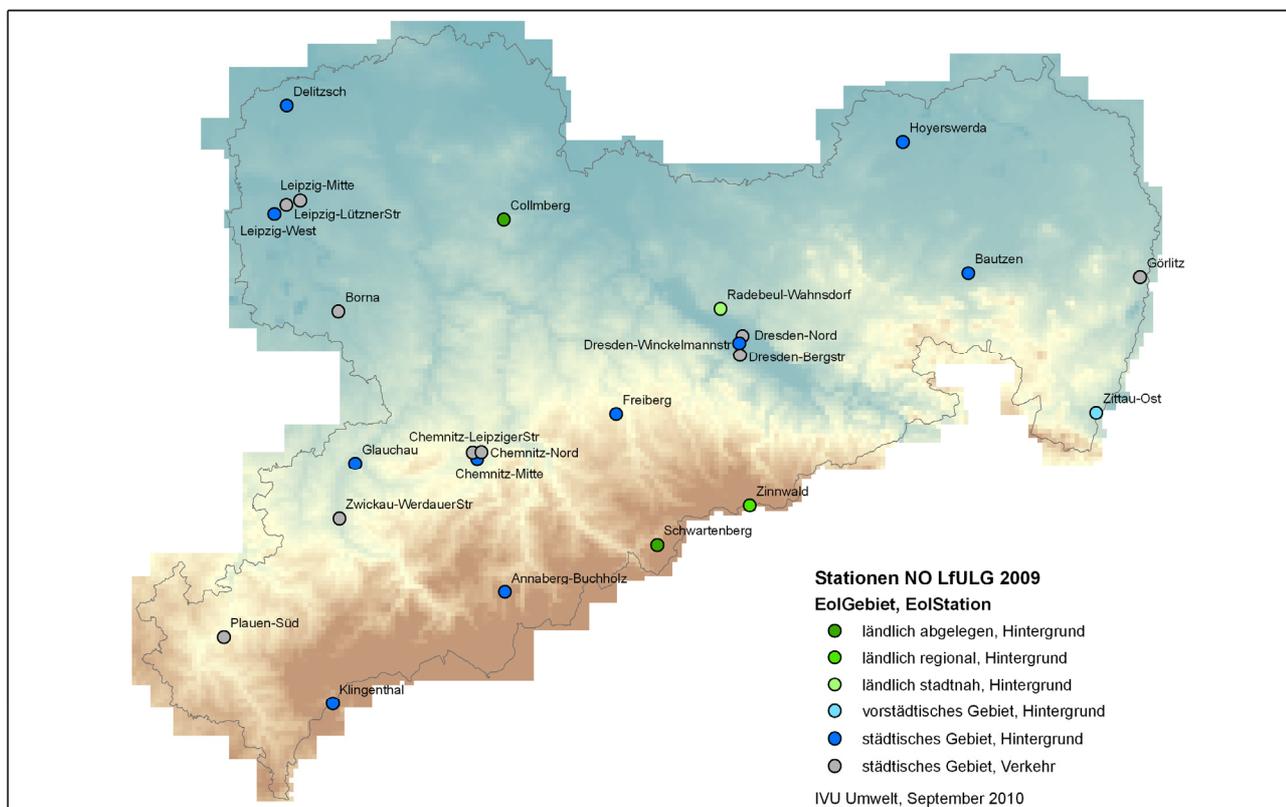


Abbildung 4: Stationen mit aktuellen NO-Messungen

Die Stabilität der Clusterung bezüglich der Länge des Auswertungszeitraums wird im Folgenden überprüft. In Abbildung 5 ist das Dendrogramm für die Stationen dargestellt, die kontinuierlich vom 01.01.2001 bis zum 31.12.2009 NO gemessen haben. In Abbildung 3 ist das Dendrogramm der seit dem 20.06.2008 (Messbeginn Dresden-Winckelmannstraße) kontinuierlich messenden Stationen ausgegeben.

Die Struktur der beiden Baumdiagramme ist weitgehend identisch. Bei der Auswertung über die letzten eineinhalb Jahre (Abbildung 3) werden drei der neu hinzugekommenen Verkehrsstationen (Chemnitz-Leipziger Straße, Zwickau-Werdauer Straße und Leipzig-Lützner Straße) dem bereits bestehenden Cluster aus Verkehrsstationen zugeordnet. Die vierte neu hinzugekommene Verkehrsstation, Dresden-Bergstraße, erhält, wie bereits oben diskutiert, einen ganz eigenen Ast. Die Station Dresden-Winckelmannstraße ordnet sich bei den städtischen Hintergrundstationen mit den im Jahresmittel eher niedrigen und mittleren Stickoxid-Werten ein. Die Clusterung wird, auch im Vergleich mit den Ergebnissen aus dem 1. Zwischenbericht, mit denen sie gut übereinstimmt, als hinreichend stabil betrachtet, sodass die oben getroffene Annahme, der Auswertungszeitraum vom 20.06.2008 bis zum 31.12.2009 sei ausreichend, bestätigt wird. Es wird daher die Clusteranalysen über die letzten eineinhalb Jahre verwendet, die alle im Jahr 2009 messenden Stationen berücksichtigen.

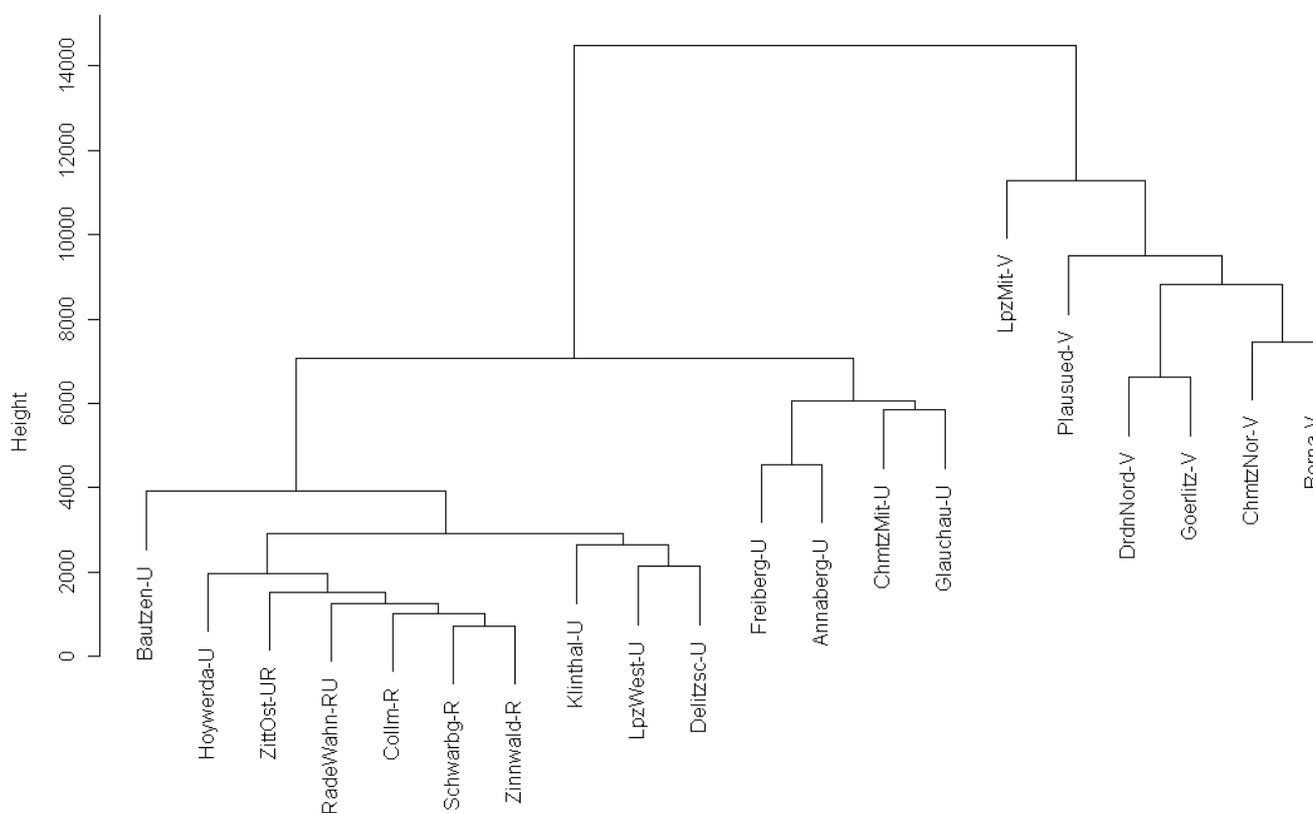


Abbildung 5: Dendrogramm NO (Auswertungszeitraum 2001 – 2009)

3.1.3 Trendanalyse auf Stundenwertbasis

Stündliche NO_2 - und NO_x -Messungen unterliegen einer starken Variabilität. Die Werte können über einen Tag um eine Größenordnung variieren. Zusätzlich unterliegen sie einem Wochen- und Jahresgang. Um trotzdem langfristige Trends statistisch abgesichert angeben zu können, bietet sich ein Mann-Kendall-Test an.

3.1.3.1 Mann-Kendall-Test für saisonbehaftete Daten

Der nicht-parametrische Mann-Kendall-Test stellt, im Gegensatz zu parametrischen Tests, wenige Anforderungen an die Daten. Eine unverzichtbare Annahme ist aber, dass die Daten unabhängig sind und aus identischer Verteilung stammen (iid-Annahme, independent identical distributed). Dieses ist bei den stündlichen NO_2 -Messungen nicht der Fall. Zwar kann mit einiger

Berechtigung angenommen werden, dass die Daten aus einer identischen Verteilung stammen, unabhängig sind die Daten aber bestimmt nicht. Sie sind im Gegenteil in einer recht komplexen Überlagerung von Tages-, Wochen- und Jahresgang autokorreliert.

Man kann der Verletzung der Unabhängigkeitsannahme auf zwei Arten begegnen:

- Durch Einführung der effektiven Stichprobengröße, die aus der Autokorrelationsfunktion geschätzt werden kann, siehe z. B. YUE, S. & C.Y. WANG (2004).
- Durch Verwendung von aggregierten Daten, siehe HIPEL, K.W. & A.I. MCLEOD (2005) und R DEVELOPMENT CORE TEAM (2007).

Im Rahmen dieser Studie wird auf die zweite Art vorgegangen. Hierzu werden die stündlichen Daten auf Monatsmittelwerte aggregiert und die Funktion "Seasonal-MannKendall" aus dem Package "Kendall" angewendet, siehe R DEVELOPMENT CORE TEAM (2007). Dieses Vorgehen ist unseres Erachtens zulässig, da die zeitliche Feinstruktur der NO₂-Konzentrationen in diesem Zusammenhang nicht interessiert, man ist vielmehr an dem längerfristigen Trend interessiert.

Das Ergebnis des Mann-Kendall-Tests ist die Signifikanz und die Richtung eines Trends. Signifikant ist ein Trend bei 5%-Irrtumswahrscheinlichkeit im zweiseitigen Test. Als aufwärts- bzw. abwärtsgerichtet wird ein Trend nach dem Vorzeichen bezeichnet. Eine weitergehende Quantifizierung des Trends ist wegen des verwendeten nichtparametrischen Verfahrens nicht möglich.

Es wurde der Trend in dem gesamten zur Verfügung stehenden Zeitraum untersucht. Eventuelle Strukturbrüche wurden nicht untersucht. Zur besseren Visualisierung wurde eine lokal gewichtete polynomiale Regression (R-funktion "lowess") rot in die Abbildungen der Trendanalysen eingezeichnet.

Die Trendanalyse auf Stundenwertbasis wurde bereits im 1. Zwischenbericht für den Zeitraum bis 2007 durchgeführt. Mit der wiederholten Durchführung bis 2009 besteht die Möglichkeit festzustellen, ob sich Trendaussagen aus 2008 im Vergleich zu einer Auswertung 2010 bestätigen oder ändern.

3.1.3.2 Ergebnisse für NO_x, NO₂ und Ozon

An den folgenden Trenddarstellungen (Abbildung 6) für vier verschiedene Stationen soll exemplarisch das Verhalten der NO_x-, NO₂- und Ozon-Entwicklung diskutiert werden. Die Trendanalysen für den vollständigen Datensatz der Messstationen sind im Anlagenteil in Kapitel 1 dargestellt.

Die vier Stationen sind:

- Bautzen als urbane Hintergrundstation mit einem über den ganzen Zeitraum gemittelten NO₂-Jahresmittelwert von 25.4 µg/m³,
- Chemnitz-Nord als urbane Verkehrsstation mit einem NO₂-Jahresmittelwert von 38.4 µg/m³ (Chemnitz-Mitte für Ozon),
- Leipzig-Mitte als urbane Verkehrsstation mit einem NO₂-Jahresmittelwert von 48.2 µg/m³ (Leipzig-West für Ozon) und
- Dresden-Bergstraße als urbane Verkehrsstation mit einem NO₂-Jahresmittelwert von 55.1 µg/m³ (Dresden-Nord für Ozon).

Gegenüber der Auswertung im 1. Zwischenbericht wurde die Station Dresden-Bergstraße in die Auswahl mit aufgenommen, da jetzt mit einer Zeitreihe von 5 Jahren eine ausreichende Datenbasis für eine Trendanalyse für diese Verkehrsstationen mit der im Jahr 2009 höchsten NO₂-Belastung vorliegt.

Bei allen Messgrößen, vor allem bei NO_x und Ozon, sind deutliche Jahresgänge zu erkennen. So haben NO_x und eingeschränkt NO₂ ein ausgeprägtes Wintermaximum, während Ozon die lokalen Maxima im Sommer aufweist.

An den Stationen Bautzen und Chemnitz-Nord wie auch an allen weiteren Stationen bis auf Dresden-Bergstraße und Leipzig-Mitte wird eine signifikante Trendabnahme bei NO_x und NO₂ ausgegeben. Bei der Station Dresden-Bergstraße wird zwar für beide Stoffe ein abnehmender Trend festgestellt, dieser ist aber nicht signifikant. Die Station Leipzig-Mitte zeigt für NO_x einen abnehmenden und für NO₂ einen zunehmenden Trend, beide Trends sind aber ebenfalls nicht signifikant.

Für Ozon wird an den meisten Stationen eine signifikante Trendzunahme über den Gesamtzeitraum berechnet. Dabei steigt Ozon an den meisten Stationen bis 2006 tendenziell an, um seitdem zu fallen. Eine Ausnahme ist die Station Dresden-Nord, bei der die Ozon-Belastung seit 2006 nicht fällt.

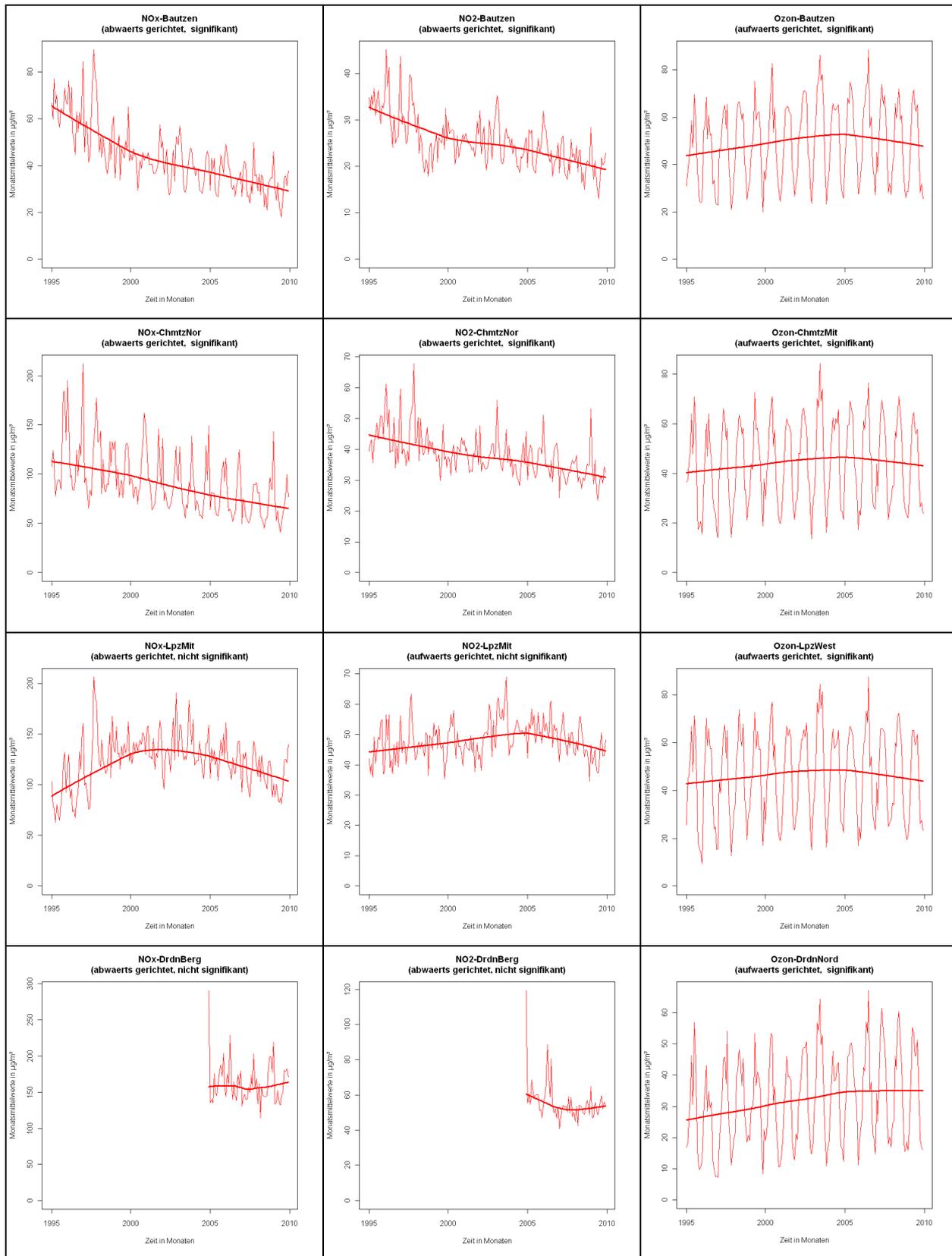


Abbildung 6: Trendanalyse für ausgewählte Stationen für NO_x, NO₂ und Ozon

3.1.3.3 Ergebnisse für das NO₂/NO_x-Verhältnis

In Abbildung 7 sind die Trendanalysen für das NO₂/NO_x-Verhältnis für die Verkehrsstationen dargestellt, sortiert in der Reihenfolge absteigender NO₂-Konzentrationen im Jahresmittelwert 2009. Die vollständigen Trendanalysen für alle Stationen finden sich im Anlagenband, Kapitel 1.

In den einzelnen Graphen ist neben den Verhältnisdaten aus den Messungen (rot) zum Vergleich das sich aus dem Romberg-Ansatz (Kapitel 3.2.4, ROMBERG, E., R. BÖSINGER, A. LOHMEYER, R. RUHNKE, E. RÖTH. (1996)) ergebende Verhältnis auf Basis der gemessenen NO_x-Werte eingezeichnet (grün). Die textlichen Trendangaben im Titel der einzelnen Graphen beziehen sich auf die Daten aus den Messungen (rot).

Bei sechs der zehn Verkehrsstationen ist ein signifikanter Aufwärtstrend des NO₂/NO_x-Verhältnisses festzustellen. In der Bergstraße in Dresden ist der Trend signifikant abwärts gerichtet. Für die restlichen Stationen kann kein signifikanter Trend abgeleitet werden.

Bei den Stationen mit den niedrigsten NO₂-Konzentrationen im Jahresmittel 2009 (Chemnitz-Nord, Borna, Görlitz und Plauen-Süd) führt der Romberg-Ansatz zu einem deutlich höheren NO₂-Anteil, als es die Messungen ergeben. Bei diesen vier Stationen liegt das NO₂-Konzentrationsniveau deutlich unter dem ab 2010 gültigen Grenzwert von 40 µg/m³ im Jahresmittel.

Bei den anderen Verkehrsstationen liegen die Abschätzungen des NO₂-Anteils nach Romberg nahe bei den gemessenen Verhältnissen. Bei den Stationen mit den höchsten NO₂-Konzentrationen im Jahresmittel 2009, Dresden-Bergstraße und Chemnitz-Leipziger Straße, ist nach einer anfänglicher Unterschätzung des Romberg-Ansatzes eine gute Übereinstimmung zwischen dem gemessenen NO₂-Anteil am NO_x und dem mit dem Romberg-Ansatz berechneten NO₂-Anteil festzustellen.

Im Unterschied zur Auswertung im 1. Zwischenbericht konnte das Verhalten des NO₂/NO_x-Verhältnisses an den Stationen Dresden-Bergstraße und Chemnitz-Leipziger Straße auf Grund des längeren Beobachtungszeitraums interpretiert werden.

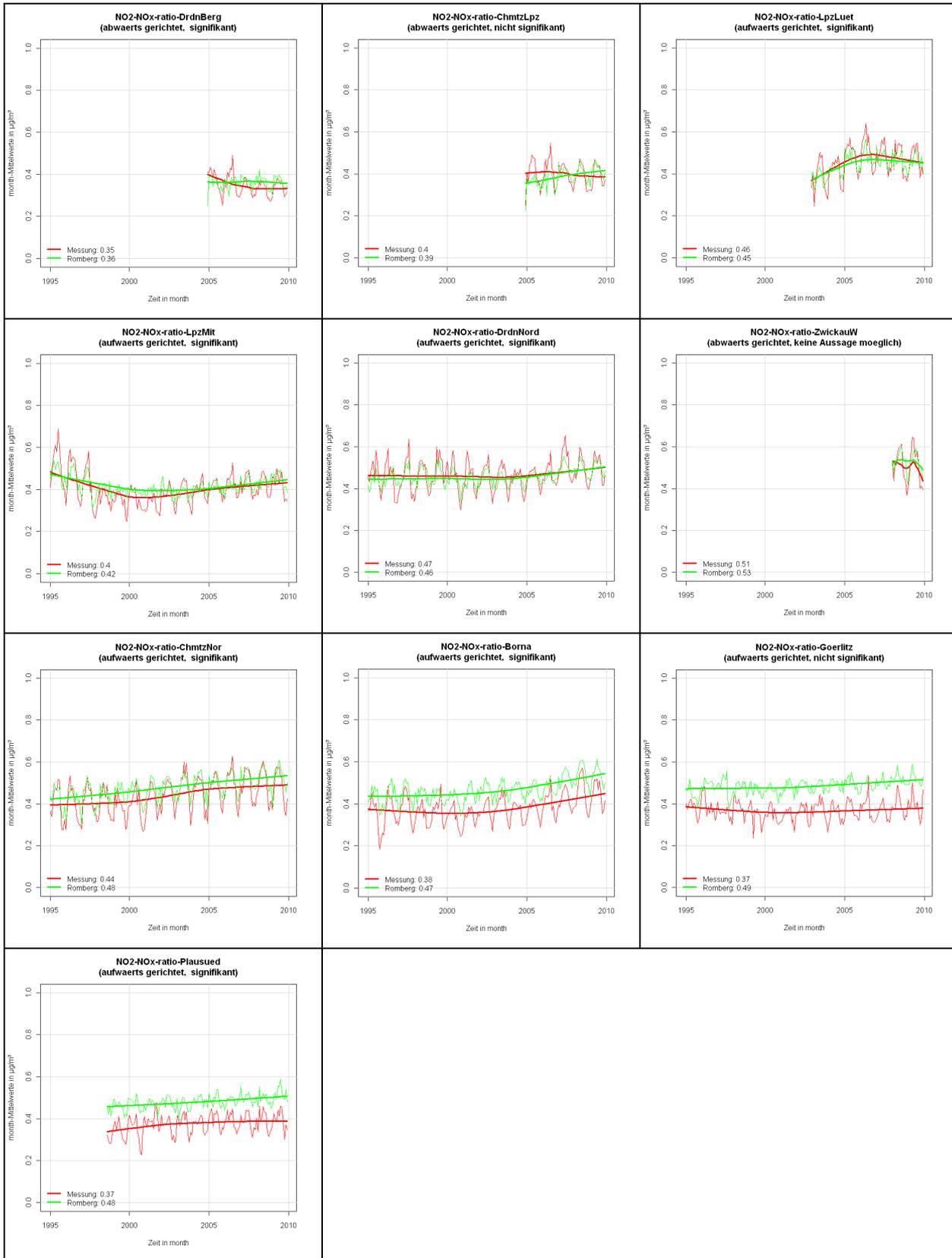


Abbildung 7: Trendanalyse für das NO₂/NO_x-Verhältnis für Verkehrsstationen

3.2 Vergleich der sächsischen NO₂-Messungen mit bundesdeutschen Messdaten

Die Entwicklung der NO₂-Belastung in Sachsen wurde auf Jahresmittelwertbasis für die Jahre 1995 – 2009 analysiert und mit der Situation im gesamten Bundesgebiet verglichen. Die Jahresmittelwerte wurden aus den Zeitreihen der Messstationen, klassifiziert nach den verschiedenen Eol-Stationstypen, gebildet. Die bundesdeutschen Messdaten der kontinuierlich messenden Stationen wurden für den aktuellen Untersuchungszeitraum von 1995 – 2009 vom Umweltbundesamt in Dessau (UBA) zur Verfügung gestellt, wobei für die Jahre 2008 und 2009 nur NO₂-Daten vorlagen. Dementsprechend werden die Jahresmittelwerte für das Bundesgebiet im Folgenden nur für NO₂ betrachtet.

Die Aussagen von Trendanalysen sind immer abhängig vom betrachteten Zeitraum und der Anzahl der für diesen Zeitraum zur Verfügung stehenden Daten. Um das Gewicht einzelner Werte möglichst klein zu halten, ist es sinnvoll, einen möglichst langen Zeitraum zu berücksichtigen. Für die hier durchgeführten Untersuchungen lagen Daten für die Jahre 1995 – 2009 vor.

3.2.1 Jahresdaten Sachsen

3.2.1.1 Entwicklung der Jahresmittelwerte

Abbildung 8 (oben) zeigt die Entwicklung der Jahresmittelwerte von NO₂ für die Jahre 1995 bis 2009 getrennt nach Eol-Klassifizierung Ländlich, Städtisch und Verkehr. Dabei ist zum einen das Mittel für alle vorliegenden Messdaten einer Stationsklassifizierung gebildet worden und zum anderen nur das Mittel aller kontinuierlich über den gesamten untersuchten Zeitraum 1995 bis 2009 messenden Stationen. In Abbildung 8 (unten) ist die gleiche Darstellung für die Jahresmittelwerte von NO_x wiedergegeben. In beiden Abbildungen ist jeweils für die Mittelwerte der kontinuierlich messenden Stationen eine Trendgerade als Ergebnis einer linearen Regression eingezeichnet.

Der Vergleich der über alle Messwerte gemittelten Werte mit den kontinuierlich messenden Stationen zeigt im städtischen Bereich keinen nennenswerten Unterschied. Im ländlichen Bereich liegen die Kurven für NO₂ bzw. NO_x ebenfalls dicht beieinander, leichte Differenzen ergeben sich, nachdem die Stationen Schwartenberg und Collmberg im Jahr 1998 mit Messungen begonnen haben. Bei den verkehrsbezogenen Messstationen zeigt sich vor allem ein großer Unterschied ab 2005, da ab diesem Zeitpunkt drei der vier am höchsten belasteten Stationen erst den Messbetrieb aufgenommen haben.

Betrachtet man nur die kontinuierlich messenden Stationen, so fällt das Jahr 2003 bei den NO₂-Messungen im Verkehr und im städtischen Hintergrund sowie bei NO_x im Verkehr als Extremjahr auf. Diese besondere Stellung des Jahres 2003 wird auch durch überdurchschnittlich hohe Messwerte z. B. bei PM₁₀ belegt (UBA 2009) und wird auf die außergewöhnlichen meteorologischen Bedingungen in diesem Jahr zurückgeführt.

Die Jahresmittelwerte 2009 bestätigen sowohl für NO₂ als auch für NO_x die abnehmende Tendenz, wie sie bereits in den beiden Zwischenberichten für die Untersuchungszeiträume 1995 – 2007 und 1995 – 2008 beschrieben wurden. Die Geradensteigungen der linearen Trendgeraden für die kontinuierlich messenden Stationen bleiben für die drei Untersuchungszeiträume 1995 – 2007, 1995 – 2008 und 1995 – 2009 sowohl für ländliche als auch für städtische Hintergrundstationen stabil.

Für die Verkehrsstationen sind die linearen Trendgeraden nur für die beiden letzten Untersuchungszeiträume 1995 – 2008 und 1995 – 2009 direkt vergleichbar, da im Zeitraum 1995 – 2007 noch die Messstation Zwickau/Dr.-Friedrichs-Ring als kontinuierlich messende Station enthalten war. Durch den Wegfall der bis Anfang 2008 kontinuierlich messenden Station haben sich auch die Jahresmittel über alle kontinuierlich messenden Verkehrsstationen geändert. Die linearen Trendgeraden zeigen für alle drei Untersuchungszeiträume sowohl für NO₂ als auch für NO_x eine abnehmende Tendenz, die zugehörigen Geradensteigungen bleiben für die letzten beiden Untersuchungszeiträume 1995 – 2008 und 1995 – 2009 stabil. Wie bereits in den beiden Zwischenberichten fällt die Abnahme für NO_x stärker und deutlicher aus als für NO₂. Die leicht steigenden NO₂-Werte der Jahre 2004 bis 2006 werden durch die Daten 2008 und 2009 nicht als Tendenz bestätigt.

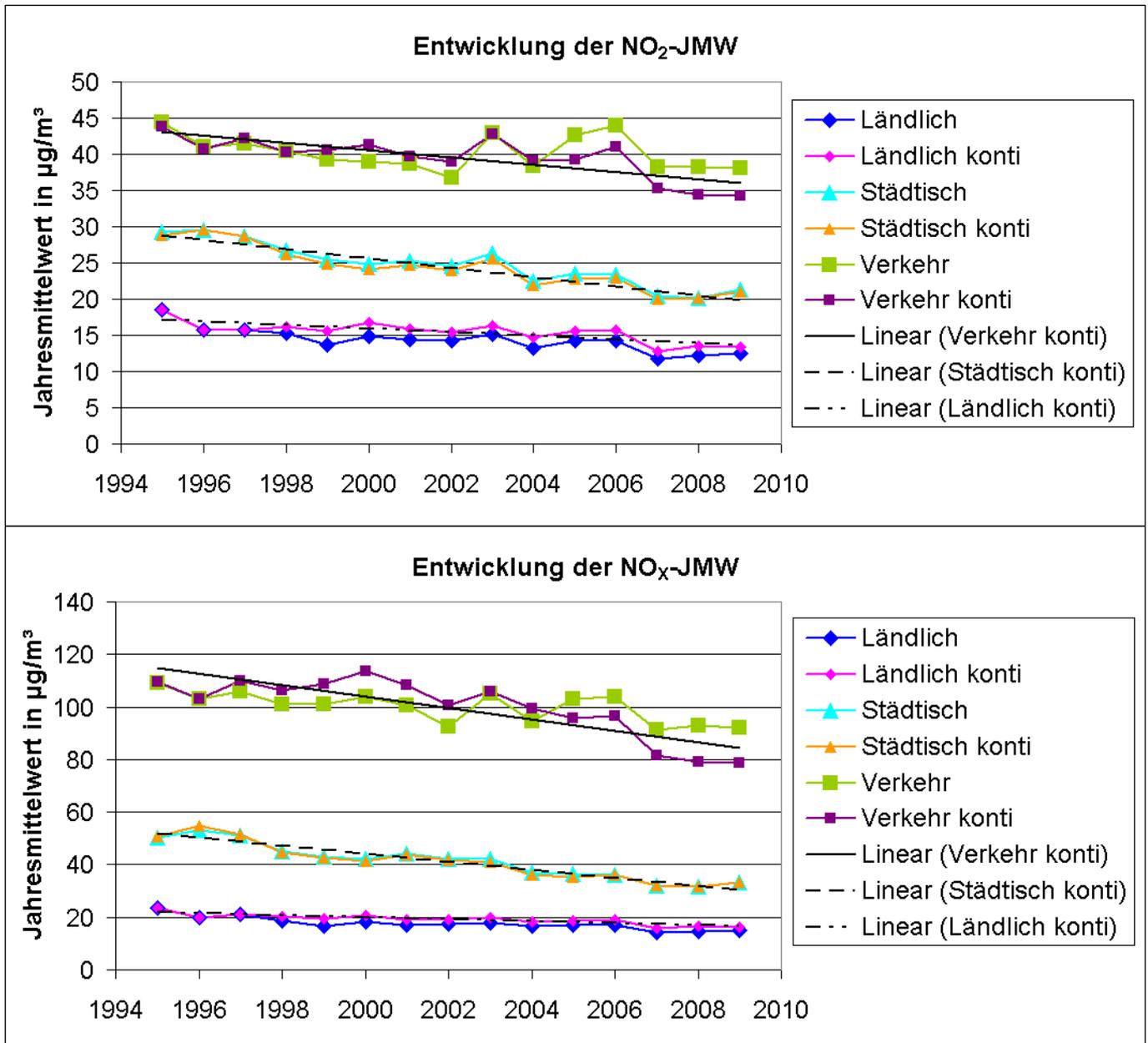


Abbildung 8: Entwicklung des NO₂- (oben) und NO_x- (unten) Jahresmittelwerts für verschiedene Stationstypen in Sachsen über den Zeitraum 1995 – 2009

Abbildung 9 zeigt die Jahresmittelwerte über alle kontinuierlich messenden Stationen für NO₂ (oben) und NO_x (unten), bezogen auf das Jahr 1995. Für die städtischen und ländlichen Hintergrundstationen unterscheiden sich die Ergebnisse nicht von denen aus den beiden Zwischenberichten. Für beide Stationstypen ist über den Gesamtzeitraum betrachtet ein Rückgang bezüglich der NO₂- und NO_x-Konzentrationen zu verzeichnen, und zwar für NO_x stärker für die städtischen als für die ländlichen Hintergrundstationen und für NO₂ für städtische und ländliche Hintergrundstationen etwa im gleichen Maße, jeweils bezogen auf den Anfangswert 1995. Die Werte für 2009 liegen zwar etwas höher als die Werte für 2007, einem Jahr mit günstigen meteorologischen Ausbreitungsbedingungen, aber in jedem Fall niedriger als alle Werte vor 2007.

Den geringsten Rückgang bezogen auf den Anfangswert 1995 zeigen die Verkehrsmessstationen, wobei die Werte für NO_x etwas stärker sinken als die für NO₂. Die Ergebnisse entsprechen denen aus dem 2. Zwischenbericht, in dem das gleiche Set kontinuierlich messender Verkehrsstationen untersucht wurde (ohne die Anfang 2008 verlegte Station Zwickau/Dr.-Friedrichs-Ring). NO₂ zeigt über den Gesamtzeitraum betrachtet eine relative Abnahme der Konzentrationen bezogen auf den Maximalwert im Jahr 1995, unterbrochen von hohen Werten in den Jahren 2003 und 2006. Für NO_x ändert sich nach der Herausnahme der Station Zwickau/Dr.-Friedrichs-Ring das Bild gegenüber dem 1. Zwischenbericht dahingehend, dass das Maximum der Zeitreihe nun erst im Jahr 2000 auftritt. Zwischen 1995 und 2000 ist relativ gesehen ein leichter Anstieg und

zwischen 2000 und 2009 ein deutlicher Rückgang der NO_x -Konzentrationen an den Verkehrsstationen zu verzeichnen. Im Gegensatz zu den städtischen und ländlichen Hintergrundstationen zeigen die Verkehrsstationen auch in den Jahren 2008 und 2009 eine wenn auch leichte Abnahme der NO_2 - und NO_x -Werte gegenüber dem Jahr 2007.

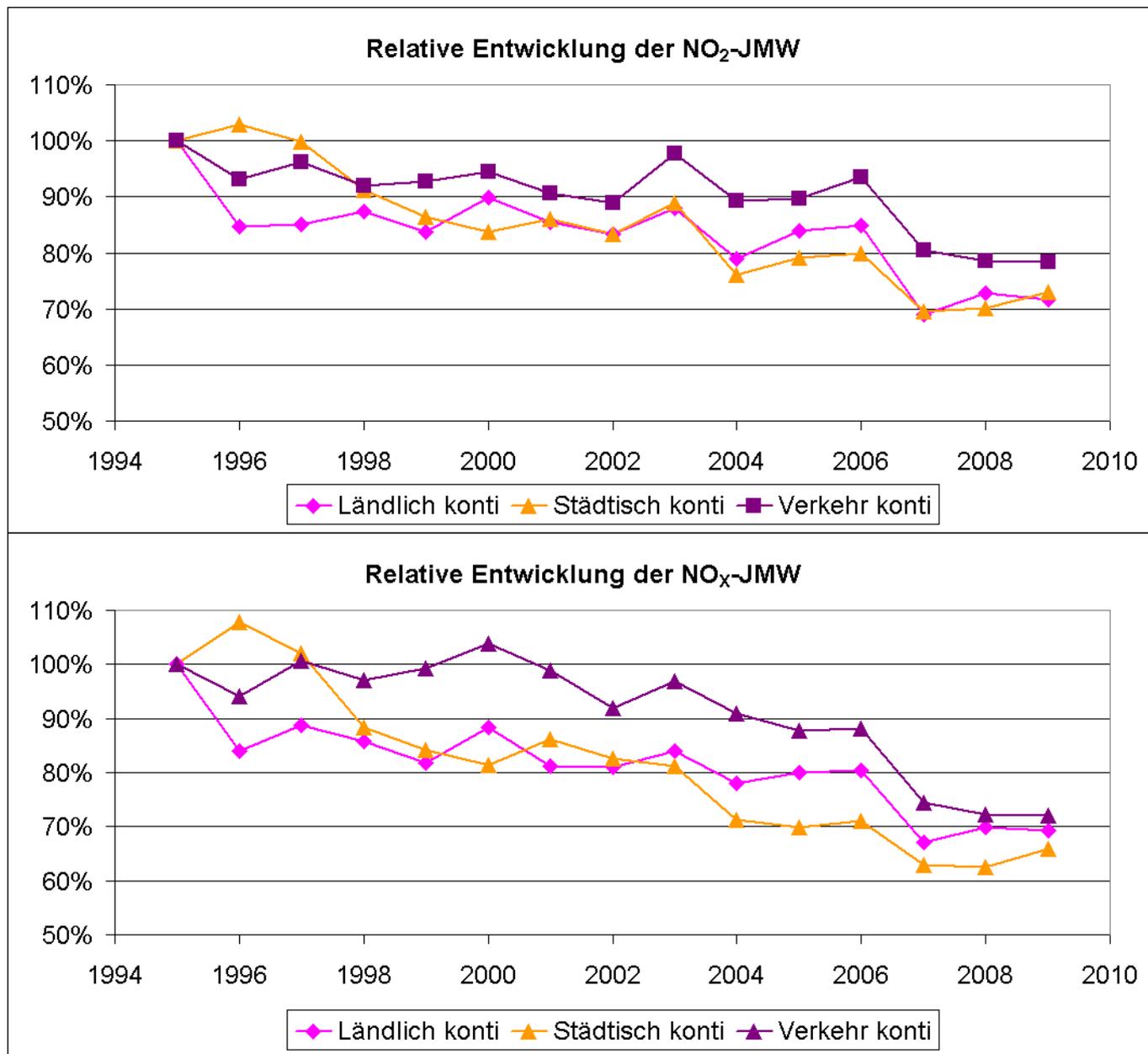


Abbildung 9: Relative Entwicklung des NO_2 - (oben) und NO_x - (unten) Jahresmittelwerts für verschiedene Stationstypen in Sachsen über den Zeitraum 1995 – 2009

3.2.1.2 Vergleich mit der Entwicklung der NO_x-Emissionen nach HBEFA 3.1

In Abbildung 10 ist die relative Entwicklung der NO_x-Jahresmittelwerte in Sachsen und die mit dem alten HBEFA 2.1 und dem neuen HBEFA 3.1 prognostizierte Entwicklung der in den einzelnen HBEFA angegebenen durchschnittlichen Innerorts-Emissionen¹ dargestellt. Für die einzelnen Zeitreihen wurden eine Regressionsgerade und die Parameter der linearen Regressionsanalyse hinzugefügt.

Vergleicht man die Steigungskoeffizienten der Regressionsgeraden, ist der Rückgang der Konzentrationen an den ländlichen Stationen am niedrigsten, gefolgt vom Rückgang der Konzentrationen an den Verkehrsstationen. Die beste Übereinstimmung besteht in den Steigungskoeffizienten zwischen den Konzentrationen an den städtischen Stationen und der Emissionsentwicklung des HBEFA 3.1. Das alte HBEFA 2.1 prognostiziert eine deutlich stärkere Abnahme der NO_x-Emissionen, die sich in keinem anderen Trend wiederfindet. Auch mit dem HBEFA 3.1 ist die berechnete Emissionsminderung des Kfz-Verkehrs stärker als der an den verkehrsbezogenen Messtationen ermittelte Trend der Immissionsminderung.

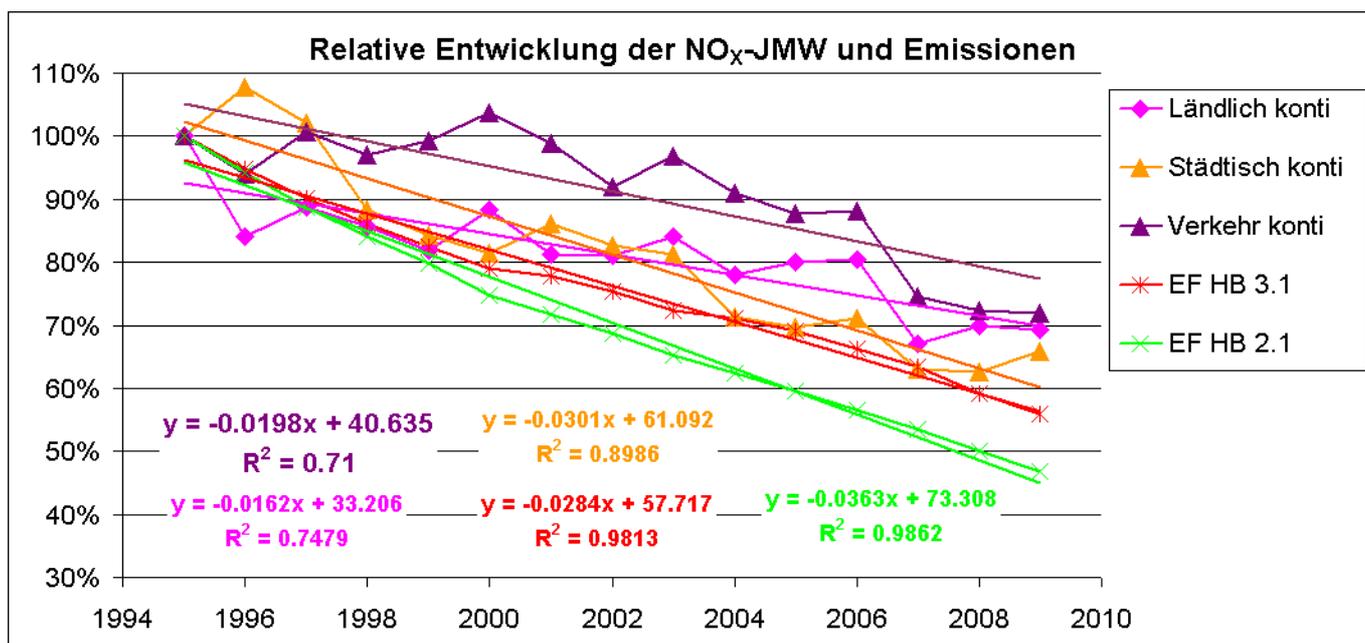


Abbildung 10: Relative Entwicklung der NO_x-Jahresmittelwerte für verschiedene Stationstypen im Vergleich zur Entwicklung der NO_x-Emissionen nach HBEFA 3.1 und HBEFA 2.1 über den Zeitraum 1995 - 2009

In Abbildung 11 ist die relative Entwicklung der NO₂-Jahresmittelwerte an den Verkehrsstationen in Sachsen dargestellt. Zusätzlich ist die zeitliche Entwicklung der durchschnittlichen Innerorts-NO_x-Emissionen¹ und der Anteil der NO₂-Emissionen an den NO_x-Emissionen nach dem HBEFA 3.1 eingezeichnet.

Die Abnahme der berechneten NO_x-Emissionen ist deutlich stärker als die Abnahme der gemessenen NO₂-Jahresmittelwerte. Es scheint auch so, dass die Schere zwischen diesen Entwicklungen sich weiter öffnet. Eine Erklärung für diese Unterschiede ist die Tatsache, dass der NO₂-Anteil kontinuierlich zunimmt. Die Zunahme im NO₂-Anteil verstärkt sich nach den Angaben des HBEFA 3.1 ab 2001 deutlich, während bei den Messungen schon ab 1997 keine deutliche Abnahme mehr zu verzeichnen ist.

¹ Als Zusammensetzung der Kfz-Typen wurden folgende Werte verwendet: PKW 88.0 %, SNfz 4.0 %; LNfz 5.0 % Linienbusse 1.5 %; Reisebusse 0.5 %; Kräder 1.0 %. Als Verkehrssituationen wurden die in den jeweiligen HBEFA angegebenen Durchschnittsmuster (ØIO) angesetzt.

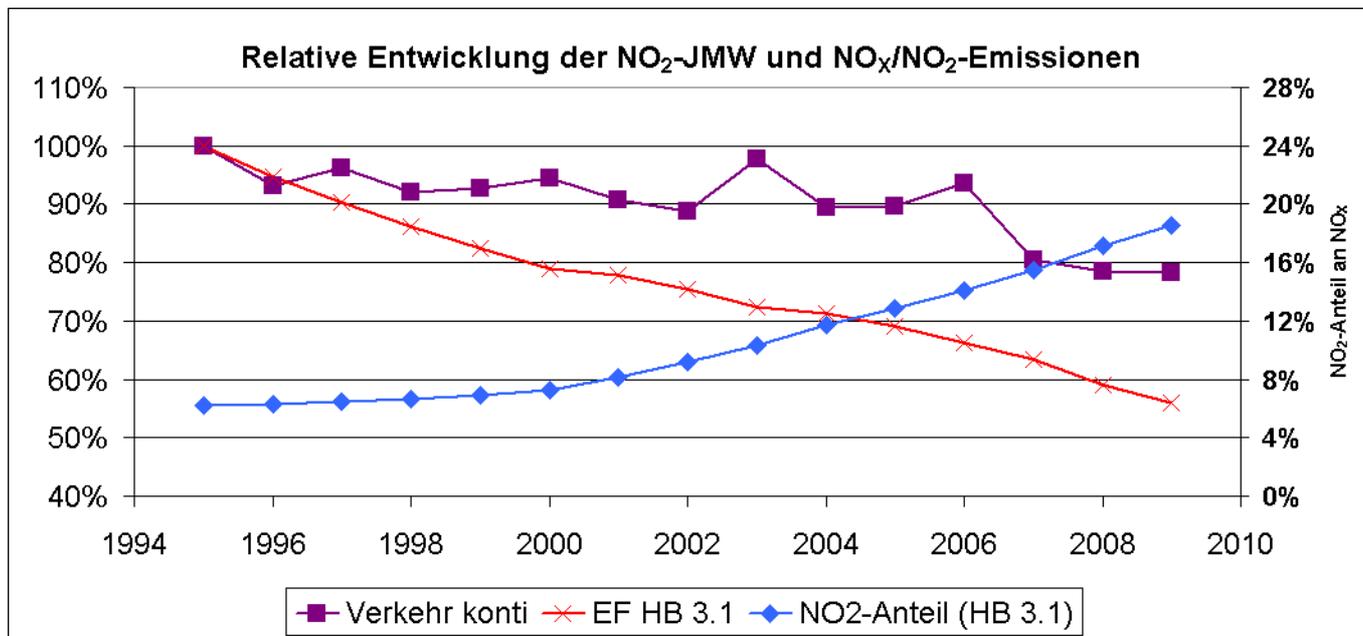


Abbildung 11: Relative Entwicklung der NO₂-Jahresmittelwerte für Verkehrsstationen im Vergleich zur Entwicklung der NO_x-Emissionen und des NO₂-Anteils nach HBEFA 3.1

3.2.2 Jahresdaten Deutschland

Vom Umweltbundesamt wurden für den aktuellen Untersuchungszeitraum 1995 – 2009 die NO₂-Messdaten der kontinuierlich messenden Stationen, klassifiziert nach Eol, zur Verfügung gestellt (im Folgenden als UBA-Datensatz bezeichnet). Es wird darauf hingewiesen, dass sich die hier vorgestellten Daten von denen aus dem 1. Zwischenbericht unterscheiden. Ein möglicher Grund dafür ist, dass sich die Datengrundlage zur Berechnung der Jahresmittelwerte geändert hat (z.B. Änderung in der Anzahl der kontinuierlich messenden Stationen durch Verlegung oder Wegfall einzelner Stationen).

Abbildung 12 zeigt die Entwicklung der Jahresmittelwerte für NO₂ für die Jahre 1995 – 2009 getrennt nach Eol-Klassifizierung Ländlich, Städtisch und Verkehr. Zudem ist für jede der drei Zeitreihen eine Trendgerade als Ergebnis einer linearen Regression eingezeichnet. Wie bei den sächsischen Daten fällt das Jahr 2003 auch bei den Daten aus dem UBA-Datensatz vor allem im Verkehr und im städtischen Hintergrund als Extremjahr auf. Diese besondere Stellung des Jahres 2003 wird auf die außergewöhnlichen meteorologischen Bedingungen in diesem Jahr zurückgeführt.

Die linearen Trendgeraden über den gesamten betrachteten Zeitraum 1995 – 2009 zeigen wie schon für den 1. Zwischenbericht und wie für die sächsischen Daten in Kapitel 3.2.1 eine abnehmende Tendenz. Insbesondere die Jahresmittelwerte der ländlichen Stationen, aber auch die des städtischen Hintergrunds, liegen dicht an der Trendgeraden. Die Werte der Verkehrsstationen sind etwas variabler. Wie bei den sächsischen Daten werden die leicht steigenden NO₂-Werte der Jahre 2004 – 2006 durch die Daten 2008 und 2009 nicht als Tendenz bestätigt.

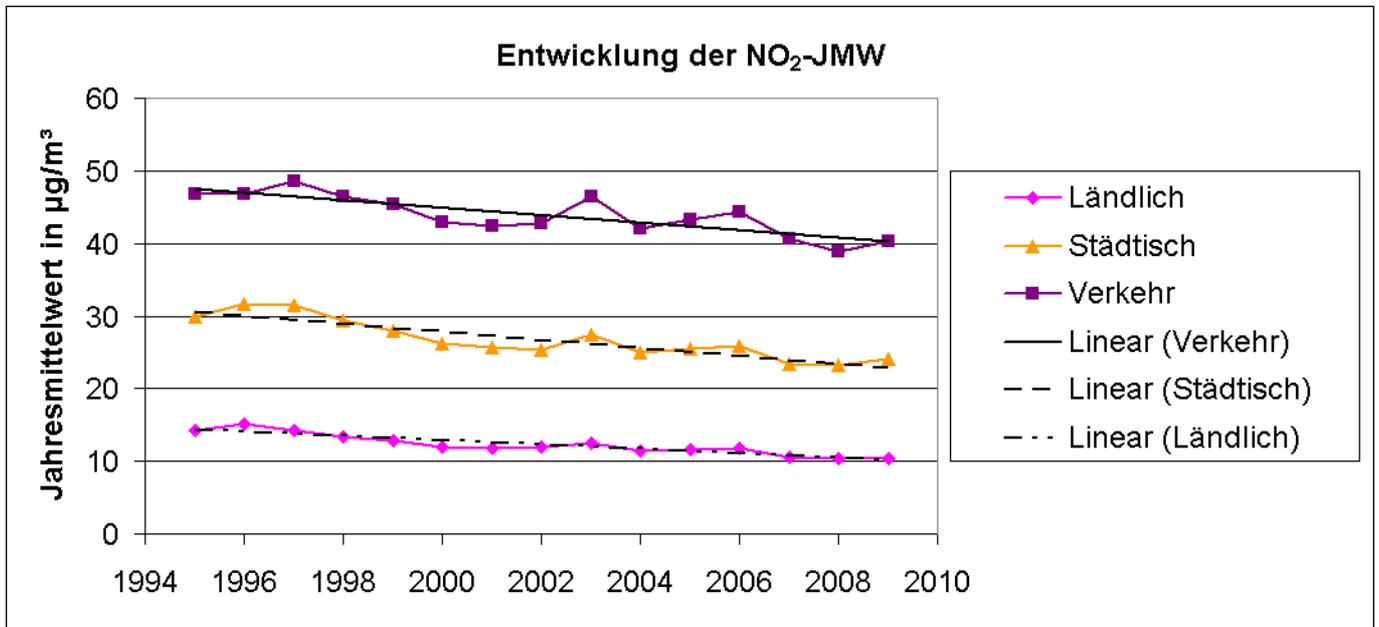


Abbildung 12: Entwicklung der NO₂-Jahresmittelwerte für verschiedene Stationstypen im UBA-Datensatz

In Abbildung 13 sind die NO₂-Werte im Verhältnis zum Jahresmittelwert 1995 dargestellt, sodass sich die relative Veränderung bezogen auf den Anfang der Zeitreihe ablesen lässt. Der stärkste relative Rückgang über den gesamten Untersuchungszeitraum 1995 – 2009 ist an den ländlichen Hintergrundstationen zu verzeichnen, gefolgt von den städtischen Hintergrundstationen, während der relative Rückgang an den Verkehrsstationen geringer ausfällt.

Im zeitlichen Verlauf ist nach einem Anstieg der Jahresmittelwerte 1996 und 1997 gegenüber 1995 der stärkste Rückgang in den Jahren bis 2001 zu beobachten. Nach dem Extremjahr 2003 und einem erneuten leichten Anstieg der Werte zwischen 2004 und 2006 sind die Werte der letzten drei Jahre wieder niedriger. Für die ländlichen Hintergrundstationen weisen sie eine fallende Tendenz auf. Für die städtischen Hintergrundstationen und die Verkehrsstationen liegt der Wert für 2009 etwas höher als für 2008, aber immer noch niedriger als alle Werte vor 2007, sodass im Gesamten immer noch von einer fallenden Tendenz gesprochen werden kann.

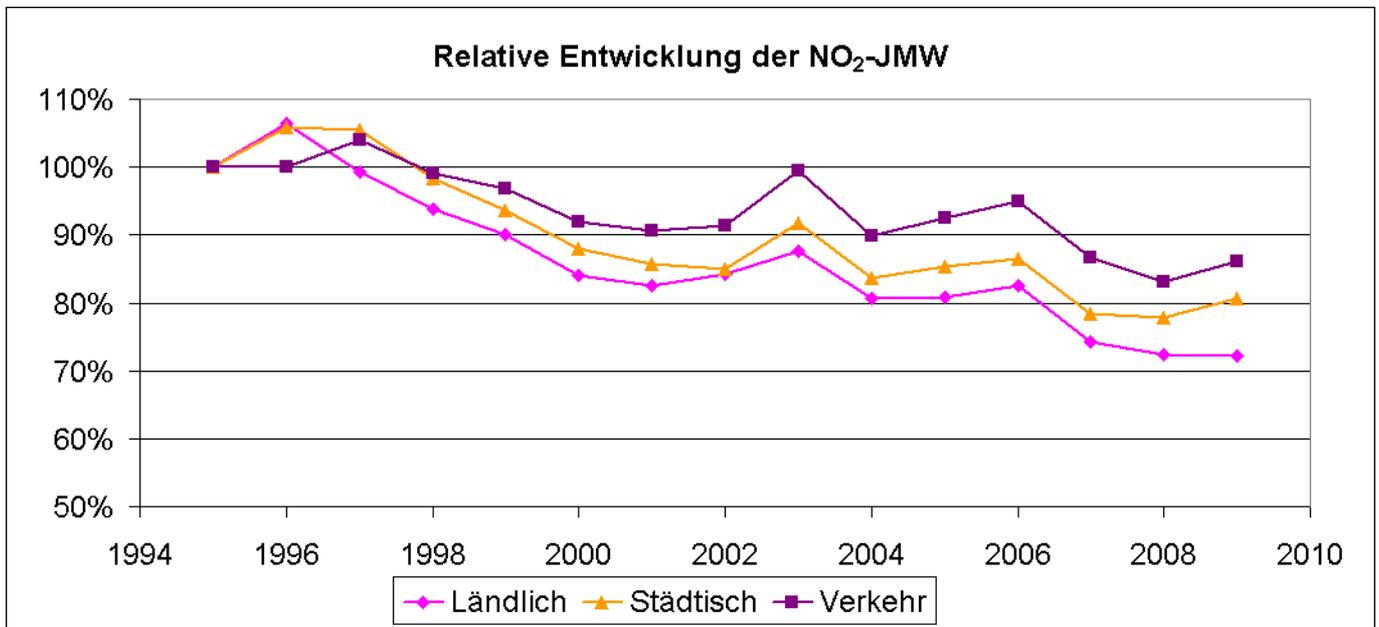


Abbildung 13: Relative Entwicklung der NO₂-Jahresmittelwerte für verschiedene Stationstypen im UBA-Datensatz

3.2.3 Vergleich der Jahresdaten für Sachsen und Deutschland

Ein direkter Vergleich der Entwicklung der sächsischen Jahresmittelwerte der kontinuierlich messenden Stationen mit den bundesdeutschen Daten für den Untersuchungszeitraum 1995 – 2009 zeigt eine gute Übereinstimmung im Verhalten (Abbildung 14). Beide Datensätze weisen eine über den Gesamtzeitraum generell fallende Tendenz auf, die in Abhängigkeit von der Stationsklassifizierung mehr oder minder stark ausgeprägt ist. Das Jahr 2003 sticht insbesondere bei den NO₂-Jahresmittelwerten der Verkehrsstationen und der städtischen Stationen als Extremjahr heraus. Die leicht steigende Tendenz der NO₂-Werte der Jahre 2004 – 2006 wird, wie schon in Kapitel 3.2.1 und 3.2.2 diskutiert, in keinem der Datensätze durch die Werte der Jahre 2008 und 2009 bestätigt.

Im 1. Zwischenbericht waren für die Verkehrsstationen die sächsischen und die bundesdeutschen NO₂-Jahresmittelwerte ab dem Jahr 2000 sehr ähnlich. Der aktuell vorliegende UBA-Datensatz für die Jahre 1995 – 2009 weist jedoch in allen Jahren höhere NO₂-Werte aus als der UBA-Datensatz für den Zeitraum 1995 - 2007, der für den 1. Zwischenbericht zur Verfügung stand. Es ist daher davon auszugehen, dass sich mittlerweile die Datengrundlage, die zur Berechnung der Jahresmittelwerte verwendet wurde, geändert hat, indem z. B. einzelne Verkehrsstationen verlegt oder abgebaut wurden, sodass sich das Kollektiv der kontinuierlich messenden Stationen verändert hat. Als Folge davon liegen die Jahresmittelwerte der bundesdeutschen Verkehrsstationen in allen Jahren höher als die der kontinuierlich messenden sächsischen Verkehrsstationen.

Im städtischen Bereich liegen die NO₂-Jahresmittelwerte im aktuellen UBA-Datensatz ebenfalls etwas höher als in dem Datensatz für den 1. Zwischenbericht. Damit wird die Tendenz, dass die bundesdeutschen NO₂-Jahresmittel der städtischen Hintergrundstationen geringfügig höher sind als die sächsischen Werte, die im 1. Zwischenbericht beschrieben wurde, verstärkt. Die NO₂-Jahresmittelwerte der ländlichen Hintergrundstationen weisen zwischen altem und aktuellem UBA-Datensatz keine nennenswerten Unterschiede auf. Die bundesdeutschen Jahresmittelwerte liegen im ländlichen Hintergrund niedriger als die sächsischen Werte. Das unterschiedliche Verhältnis der NO₂-Werte an städtischen und ländlichen Hintergrundstationen zwischen UBA-Daten und sächsischen Daten ist möglicherweise darin begründet, dass im bundesdeutschen Durchschnitt NO an ländlichen Stationen einen etwas größeren Anteil hat als in Sachsen. Dafür spricht das Verhältnis der NO_x-Jahresmittel im Vergleich zwischen UBA-Daten und sächsischen Daten, das im 1. Zwischenbericht beschrieben ist.

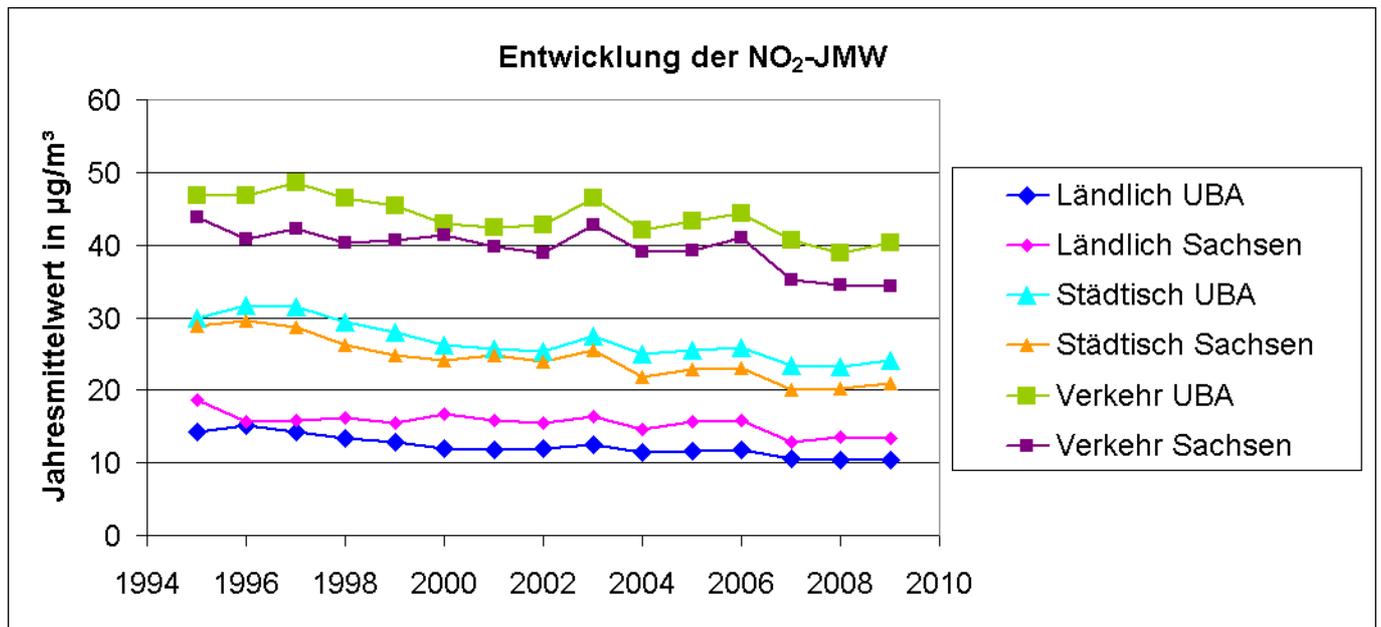


Abbildung 14: Vergleich der Entwicklung der NO₂-Jahresmittelwerte für verschiedene Stationstypen in Sachsen und im UBA-Datensatz

3.2.4 Vergleich zum Romberg-Ansatz

Im 1. Zwischenbericht (IVU UMWELT (2009A)) wurde der Romberg-Ansatz (ROMBERG, E., R. BÖSINGER, A. LOHMEYER, R. RUHNKE, E. RÖTH. (1996)) zur modelltechnischen Abschätzung des NO_2 -Jahresmittelwerts auf Basis von NO_x -Konzentrationen diskutiert und seine Anwendbarkeit auf die Daten in Sachsen und im Vergleich dazu auf die Daten im gesamten Bundesgebiet untersucht. Diese Analyse wird im vorliegenden Endbericht für die sächsischen Daten nochmals, diesmal auf Basis der NO_2 - und NO_x -Werte für den aktuellen Untersuchungszeitraum 1995 – 2009, durchgeführt.

In Abbildung 15 ist dargestellt, wie sich das gemessene NO_2/NO_x -Verhältnis zum Romberg-Ansatz über den aktuellen Untersuchungszeitraum 1995 - 2009 verhält. Die Unterscheidung in die Stationstypisierung zeigt weiter deutlich die Abhängigkeit des NO_2/NO_x -Verhältnisses. Ländliche Stationen werden durch Romberg unterschätzt (NO_2/NO_x -Verhältnis > 100 %), während städtische Hintergrundstationen gut getroffen werden. Verkehrsstationen werden eher überschätzt (NO_2/NO_x -Verhältnis < 100 %).

Für städtische und ländliche Hintergrundstationen ist das Verhältnis NO_2/NO_x zu Romberg-Ansatz 2009 gegenüber 2007 leicht angestiegen, zeigt sich aber gegenüber 2008 weitgehend unverändert. Während das Verhältnis für die ländlichen Stationen damit einigermaßen stabil bleibt, bestätigt sich der leichte Anstieg der letzten Jahre für die städtische Stationen. Für die Verkehrsstationen ist nach dem deutlichen Anstieg des NO_2/NO_x -Verhältnisses in den Jahren 2005 und 2006 ein Rückgang für die Jahre 2007 und 2008 zu verzeichnen, 2009 zeigt ähnliche Werte wie 2008. Sollte der Trend der letzten fünf Jahre erhalten bleiben, so kann daraus abgeleitet werden, dass der Romberg-Ansatz in Sachsen die NO_2 -Belastung an städtischen Hintergrundstationen leicht unterschätzt, während er für Verkehrsmessstationen weiterhin eher konservativ abschätzt.

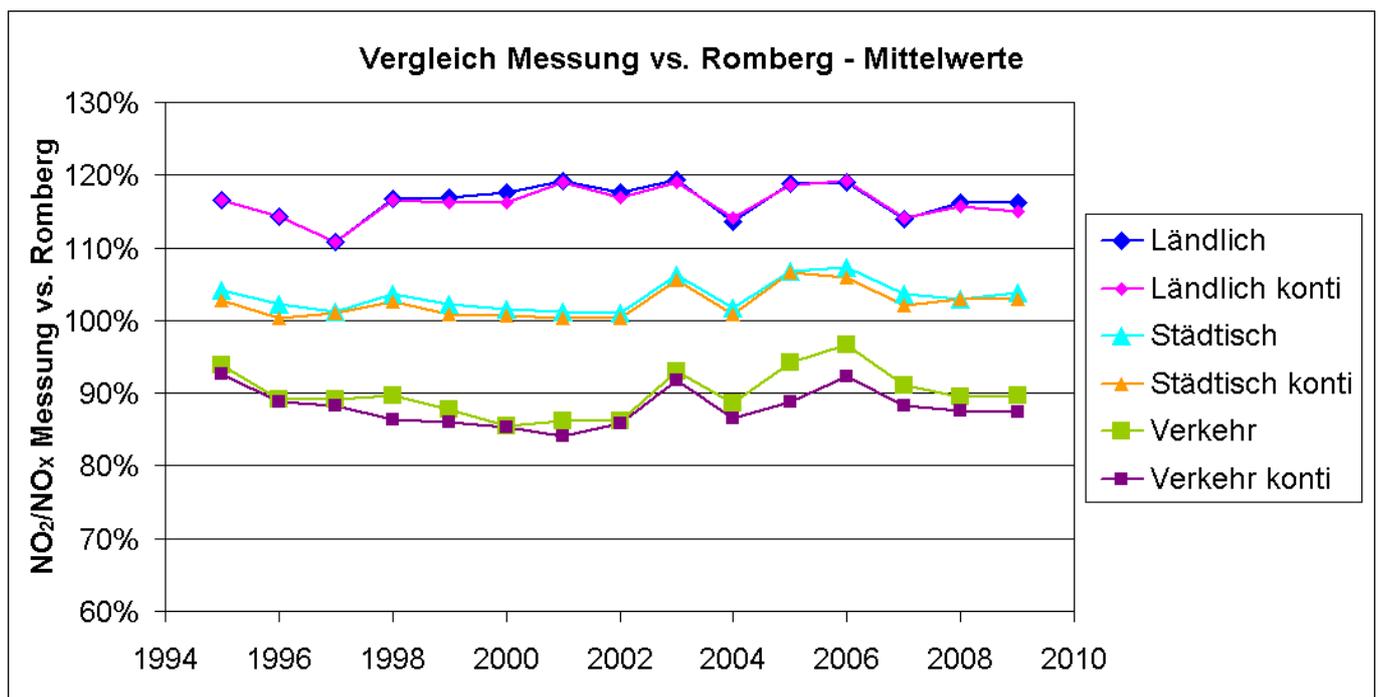


Abbildung 15: Vergleich des gemessenen NO_2/NO_x -Verhältnisses zum Romberg-Ansatz jahresweise gemittelt für verschiedene Stationstypen in Sachsen

In Abbildung 16 ist für Verkehrsmessstationen für sechs ausgewählte Jahre dargestellt, wie sich das Verhältnis Messung NO_2/NO_x zum Romberg-Ansatz in Abhängigkeit des NO_2 -Jahresmittelwerts darstellt. Es ist zu erkennen, dass bei einem niedrigen NO_2 -Niveau der Romberg-Ansatz eher überschätzt (Verhältnis < 100 %), während er bei höheren Konzentrationen eher unterschätzt. Dabei ist das hohe Konzentrationsniveau über $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nur mit wenigen Werten vertreten. In den Jahren 2005 und 2006 traten an einzelnen Messstationen (an den 2005 neu hinzugekommenen Verkehrsstationen Chemnitz-Leipziger Straße und Dresden-Bergstraße) hohe NO_2 -Konzentrationen auf, die durch den Romberg-Ansatz unterschätzt werden. In den Jahren 2007 bis 2009 wurden keine NO_2 -Konzentrationen in dieser Höhe ermittelt. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass

die im Mittel konservative Romberg-Methode ein differenziertes Bild in Abhängigkeit von der Höhe der NO₂-Konzentrationen zeigt. Es besteht demnach die Gefahr, dass höhere NO₂-Konzentrationen durch Romberg unterschätzt werden und deshalb der Anteil an NO₂-Direktemissionen und der Photochemie in der Modellierung berücksichtigt werden muss.

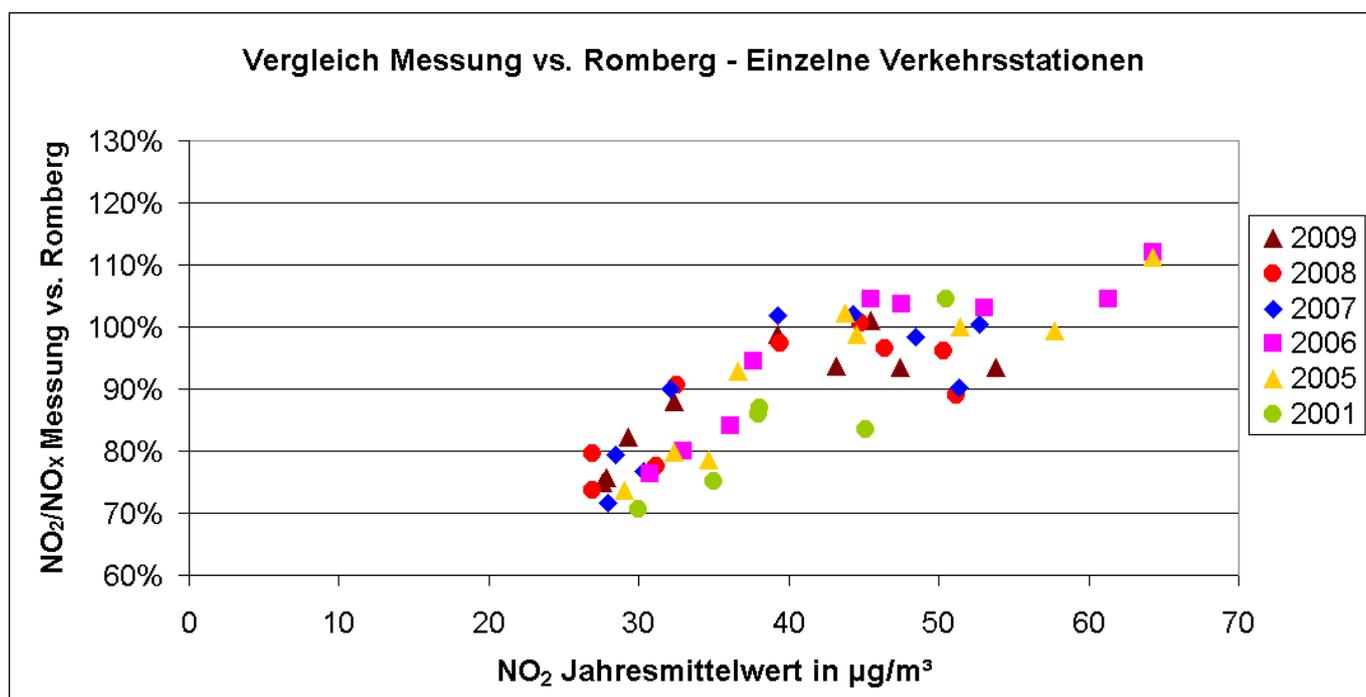


Abbildung 16: Verhältnis des NO₂/NO_x-Anteils aus Jahresmessungen einzelner Verkehrsstationen zum Rombergansatz gegenüber gemessenen NO₂-Jahresmittelwerten in Sachsen

3.3 Meteorologische und weitere Einflüsse auf die NO₂-Belastung

3.3.1 Entwicklung der Ozonwerte und meteorologischen Komponenten im Jahresmittel

In Abbildung 17 ist analog zu den beiden Zwischenberichten (IVU UMWELT (2009A), IVU UMWELT (2009B)) die Entwicklung der über die verschiedenen Stationstypen gemittelten Ozonkonzentration für den Zeitraum 1995 bis 2009 in Sachsen dargestellt. Das Ozonniveau liegt an den ländlichen Hintergrundstationen am höchsten, während das Niveau im direkten Verkehrsumfeld am niedrigsten ist.

Die Werte für das Jahr 2009 liegen für die städtischen und ländlichen Hintergrundstationen unter den Werten für 2008 und für die Verkehrsstationen mit diesen gleichauf. Die linearen Trendgeraden zeigen zwar bezogen auf den gesamten Untersuchungszeitraum für alle drei Stationstypen weiterhin einen Anstieg der Ozonwerte an, die Steigung nimmt jedoch gegenüber den ersten zwei Zwischenberichten weiter ab. Mit den niedrigen Werten für 2009 und den hohen Werten für 2003 lässt sich wie schon im 2. Zwischenbericht für die städtischen und die ländlichen Hintergrundstationen zwischen 2003 und 2009 eine eher abnehmende Tendenz erkennen. Ob sich dies zu einem Trend stabilisiert oder die sich über den betrachteten Gesamtzeitraum ergebende steigende Tendenz erhalten bleibt, können erst zukünftige Messwerte zeigen. Für die Verkehrsstationen bleiben die Konzentrationen seit 2003 auf etwa dem gleichen Niveau. Dabei wird Ozon ebenfalls seit 2003 nur noch an der Verkehrsstation Dresden-Nord gemessen, d. h. die dargestellten Jahresmittelwerte der Verkehrsstationen beruhen ab 2003 auf den Messdaten einer Station.

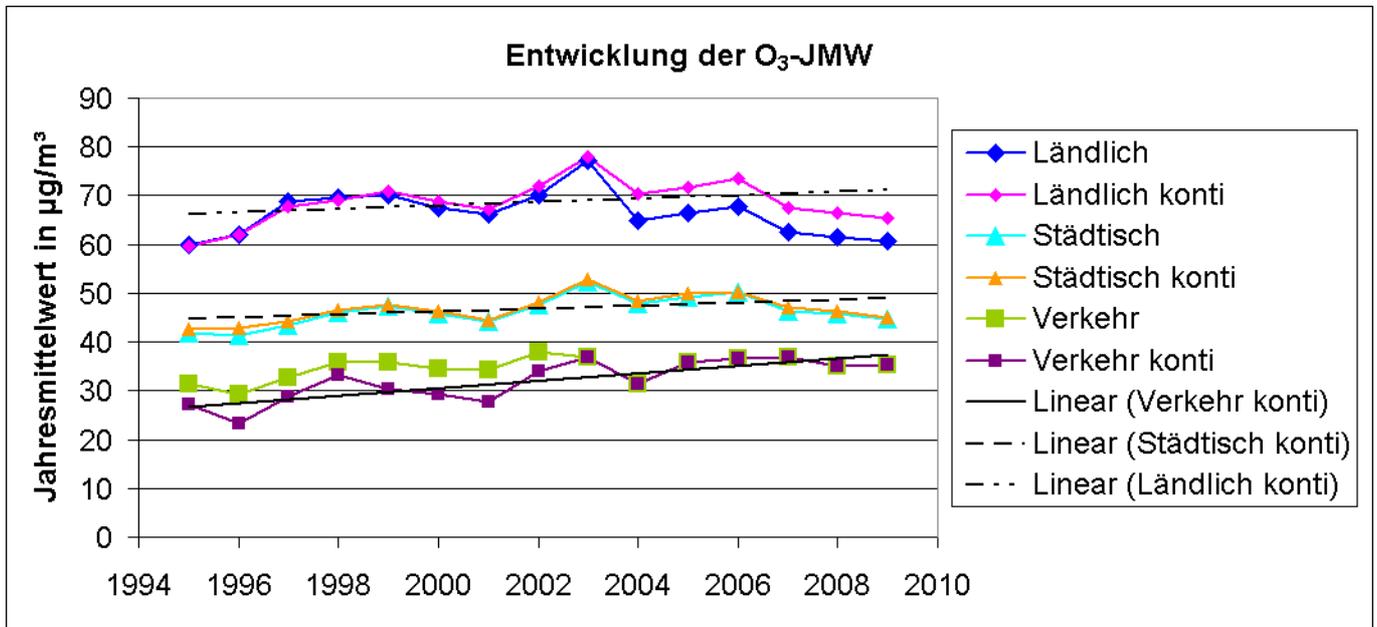


Abbildung 17: Ozon-Jahresmittelwerte für verschiedene Stationstypen für die sächsischen Messungen über den Zeitraum 1995 – 2009

In Abbildung 18 ist die Entwicklung des Jahresmittelwerts der Windgeschwindigkeit für alle Stationen und im Mittel (rote Linie) dargestellt. Zusätzlich ist mit den grünen Quadraten die Anzahl der zur Verfügung stehenden Stationen eingezeichnet. Wie im 1. Zwischenbericht werden die höchsten Windgeschwindigkeiten an den hoch gelegenen Messstationen Schwarzenberg, Fichtelberg und Zinnwald gemessen. Der Mittelwert über alle Stationen weist keinen Trend auf, sondern bewegt sich immer um die 2 m/s.

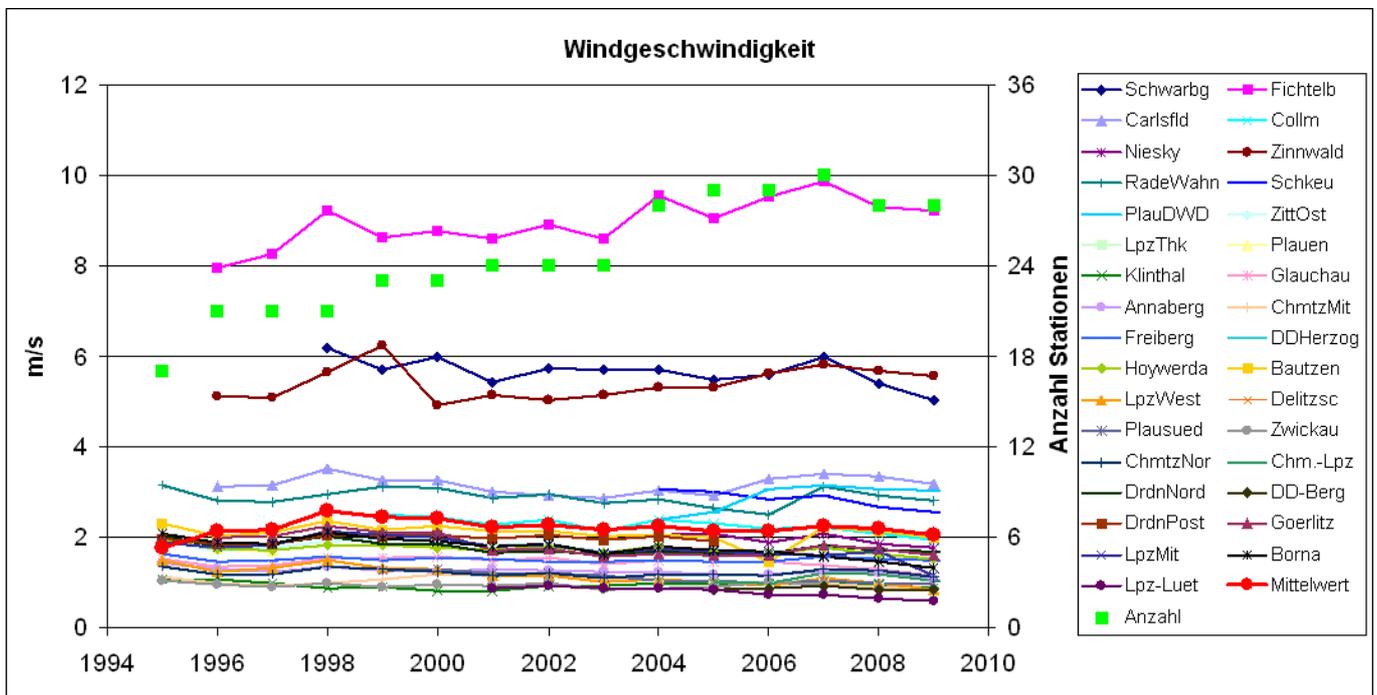


Abbildung 18: Entwicklung der Windgeschwindigkeit (rote Linie: Mittelwert, grüne Quadrate: Anzahl der Stationen)

In Abbildung 19 ist analog zur Auswertung der Windgeschwindigkeit der zeitliche Verlauf der Jahresmittelwerte der gemessenen Temperaturen der sächsischen Stationen dargestellt. Als Jahr mit einem deutlich niedrigeren Mittelwert der Temperatur fällt 1996 auf, das wärmste Jahr im Untersuchungszeitraum ist 2007.

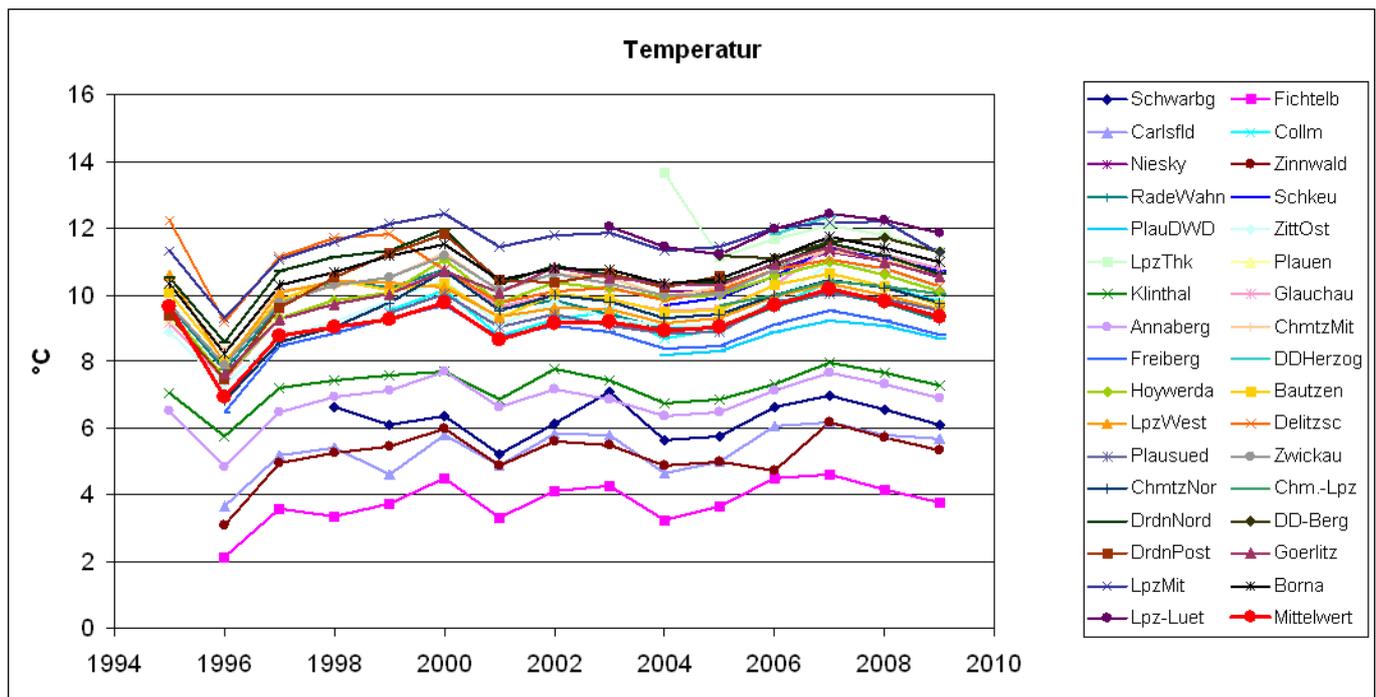


Abbildung 19: Entwicklung der Temperatur (rote Linie: Mittelwert)

3.3.2 Analyse möglicher Einflussfaktoren

Im 1. Zwischenbericht (IVU UMWELT (2009A)) wurde eine statistische Analyse möglicher Einflussfaktoren auf die NO₂-Zusatzbelastung im Straßenraum durchgeführt. Als mögliche Einflussfaktoren wurden

- die NO_x-Zusatzbelastung,
- die Anzahl der Kraftfahrzeuge,
- die NO₂-Emissionen des Kfz-Verkehrs,
- das NO₂/NO_x-Emissionsverhältnis,
- die photochemischen Reaktionen von NO, NO₂ und O₃ sowie
- die Meteorologie

betrachtet. Als Zusatzbelastung wird dabei der Anteil der Schadstoffbelastung bezeichnet, der aus dem Kraftfahrzeugverkehr der engeren Umgebung der Messstelle stammt.

Für den Endbericht wurde die Analyse erneut durchgeführt. Dazu wurde die entsprechende Datengrundlage aus den beiden Zwischenberichten um die Daten des Jahres 2009 ergänzt. Im Gegensatz zum 1. Zwischenbericht wurden nun verkehrliche Faktoren, Ozonchemie und meteorologische Daten gemeinsam untersucht, um ein umfassendes Bild zu erhalten. Sowohl die NO₂-Emissionen des Kfz-Verkehrs als auch das NO₂/NO_x-Emissionsverhältnis wurden dabei nicht mehr als Einflussfaktoren betrachtet. Die Ergebnisse des 1. Zwischenberichts haben eine starke Korrelation dieser Größen mit der Anzahl Kraftfahrzeuge gezeigt, sodass davon ausgegangen wird, dass die Betrachtung der Anzahl Kraftfahrzeuge für die Analyse ausreichend ist.

3.3.2.1 Betrachtete Stationen

Die Bestimmung der Korrelationsmatrizen und die multivariaten Regressionsanalysen wurden analog zum 2. Zwischenbericht für die Verkehrsmessstationen Dresden-Bergstraße (Abbildung 20) und Leipzig-Lützner Straße (Abbildung 21) durchgeführt. Für beide Stationen liegen Daten aus Verkehrszählungen vor.

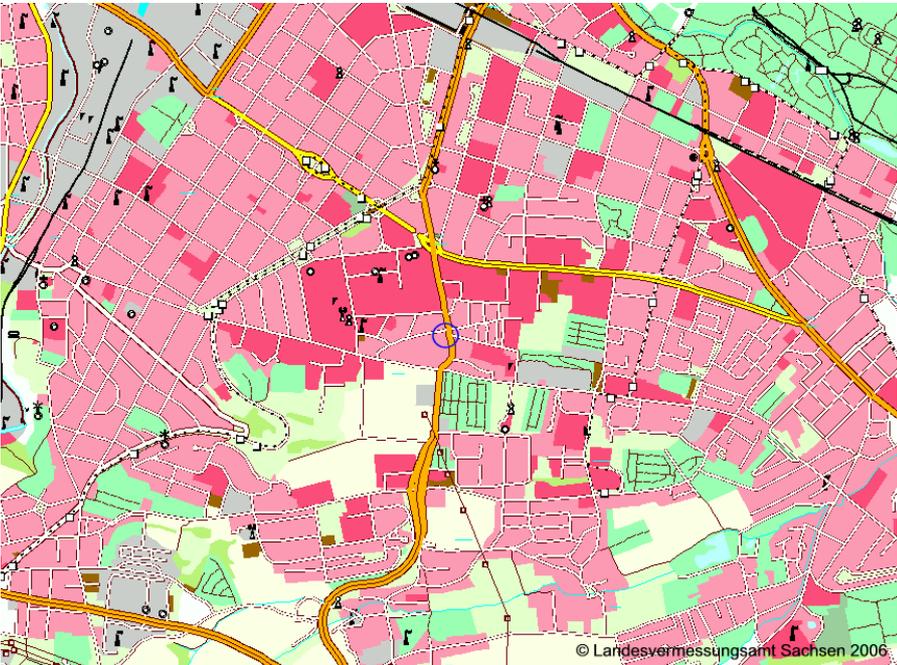


Abbildung 20: Luftbild, Umgebungskarte und Foto der Station Dresden-Bergstraße

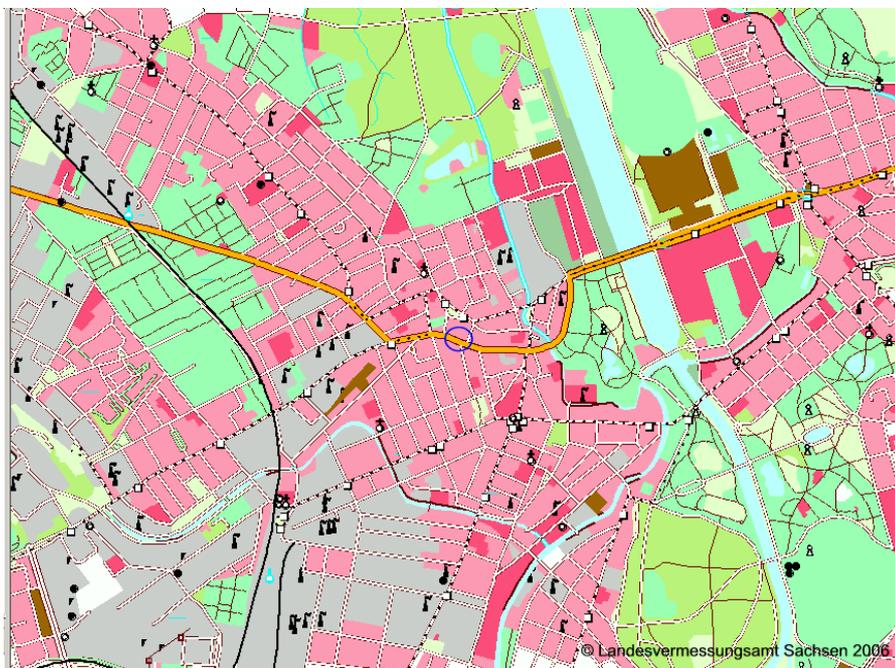


Abbildung 21: Luftbild, Umgebungskarte und Foto der Station Leipzig-Lützner Straße

3.3.2.2 Eingangsdaten

Sowohl die Daten der Immissionsmessungen als auch die meteorologischen Daten sind, sofern nicht anders aufgeführt, Stundenmittelwerte.

Immissionen

Messstationen, die Immissionsmessungen durchführen, messen die Gesamtbelastung. Diese kann man sich zusammengesetzt denken aus einer Vorbelastung, das ist die Überdach-Konzentration, und einer Zusatzbelastung, das ist die Konzentration, die aus dem Kraftfahrzeugverkehr der engeren Umgebung der betrachteten Messstelle stammt. Um die Zusatzbelastung aus Immissionsmessungen zu ermitteln, muss die Vorbelastung bekannt sein. Da die Überdach-Konzentration nicht gemessen wird, wurde auf die urbane Hintergrundstation zurückgegriffen, die der betreffenden Messstelle am nächsten liegt. Diese sind für die beiden hier untersuchten Verkehrs-Messstationen (Kapitel 3.3.2.1):

Tabelle 2: Messstationen Verkehr mit zugehöriger Hintergrundstation und Entfernung zwischen den Stationen

Messstation Verkehr	Messstation Hintergrund	Entfernung [km]
Dresden-Bergstraße	Dresden-Winckelmannstraße	2.78
Leipzig-Lützner Straße	Leipzig-West	3.28

Die urbane Hintergrundstation in Dresden wurde in den vergangenen Jahren zweimal verlegt, einmal zum Jahreswechsel 2005 / 2006 vom Postplatz in die Straße An der Herzogin Garten, und einmal zum 20.06.2008 von der Straße An der Herzogin Garten zur Winckelmannstraße. Die sich aus dieser Situation ergebenden Messzeitreihen sind, insbesondere in Kombination mit den Zeitreihen der Verkehrszählstellen (Tabelle 3), für statistische Analysen relativ kurz. In den beiden Zwischenberichten wurde daher als urbane Hintergrundstation für Dresden die Messstation Radebeul-Wahnsdorf gewählt. Diese Vorgehensweise ist jedoch, was den photochemischen Anteil der Analyse betrifft, unbefriedigend, da die Station Radebeul-Wahnsdorf deutlich höher liegt als die Messstation Dresden-Bergstraße (246 m.ü.NN gegenüber 150 m.ü.NN). Daher wird im vorliegenden Endbericht die Station Dresden-Winckelmannstraße als Hintergrundstation für Dresden-Bergstraße verwendet. Damit können mittlerweile immerhin eineinhalb der zweieinhalb Jahre, für die Verkehrsdaten an der Station Dresden-Bergstraße vorliegen, mit Luftqualitätsmesswerten und meteorologischen Daten abgedeckt werden. Trotzdem ist dieser Zeitraum für die im Folgenden durchgeführten statistischen Analysen immer noch relativ kurz, die Ergebnisse sind daher nur eingeschränkt belastbar.

Photochemisches Gleichgewicht

Folgende drei Reaktionsgleichungen laufen im Wesentlichen im Straßenraum ab (WIEGAND, G.; YAMARTINO, R. J. (1986)):

- a: Photolyse des NO_2 in NO und O bei Strahlung mit Wellenlänge $<410 \mu\text{m}$
- b: Rekombination von Sauerstoffatomen (O) mit O_2 zu O_3
- c: Ozonabbau durch NO in NO_2 und O_2

Im Folgenden sind Volumenkonzentrationen durch eckige Klammern gekennzeichnet.

In der für die Ausbreitung im Straßenraum relevanten Zeitskala sind dies die entscheidenden Reaktionen, da sie unter den meisten Bedingungen um Größenordnungen schneller ablaufen als konkurrierende Reaktionen, an denen NO, NO_2 oder O_3 beteiligt sind. Als Folge der drei Prozesse a bis c stellt sich in kürzester Zeit ein photostationäres Gleichgewicht ein, das durch folgende Gleichgewichtsbeziehungen beschrieben wird:

$$\frac{[\text{O}_3] \cdot [\text{NO}]}{[\text{NO}_2]} = \frac{k_1}{k_3} \quad \text{Gleichung 1}$$

Mit $k_1 = \text{NO}_2$ -Photolysefrequenz

$k_3 = \text{Reaktionskonstante für Reaktion c}$

Wenn man diese Beziehung auf die stündlichen Konzentrationen in Straßenräumen anwenden will, muss man folgende Probleme lösen:

- Die Beziehung der Gleichung 1 gilt nur am Tage und ist nur für momentane und nicht für zeitlich gemittelte Konzentrationswerte von NO, NO₂ und O₃ gültig. Daher kann nicht unbedingt davon ausgegangen werden, dass die Stundenmesswerte der Konzentrationen die Gleichgewichtsbeziehung exakt erfüllen, selbst wenn man annimmt, dass außer dem Reaktionszyklus a bis c keine anderen Reaktionen die Konzentrationen von NO, NO₂ und O₃ bestimmen.
- Die Photolysefrequenz ist im Allgemeinen nicht bekannt.

Deshalb wird die Gleichgewichtsbeziehung anstatt über das Verhältnis der Reaktionskonstanten k₁ und k₃ über eine empirische Größe „PCE“² definiert, die aus den Überdach-Konzentrationen³ [NO]^B, [NO₂]^B und [O₃]^B in Volumenkonzentrationen, z. B. ppb, bestimmt wird:

$$\frac{[O_3]^B \cdot [NO]^B}{[NO_2]^B} = PCE \quad \text{Gleichung 2}$$

Dieses photochemische Gleichgewicht wurde aus den stündlichen Messungen von O₃, NO und NO₂ an den urbanen Hintergrundmessstellen (Tabelle 2) berechnet und wurde in der Regressionsanalyse zur Abbildung des Einflusses der Photochemie auf die Zusatzbelastung von NO₂ verwendet.

Verkehrsdaten

Für die in Kapitel 3.3.2.1 beschriebenen Stationen Dresden-Bergstraße und Leipzig-Lützner Straße lagen Daten aus Verkehrszählungen für zweieinhalb bzw. drei Jahre vor. Aufgrund dieser relativ kurzen Zeiträume ist die Aussage der folgenden Analysen bezüglich der Verkehrsvariablen nur bedingt belastbar.

Tabelle 3: Verkehrszählstellen mit zugehörigen Messzeiträumen und Verkehrsdaten

Name der Verkehrszählstelle	Von	Messzeitraum Bis	Anzahl Tage	Verkehrsdaten DTV in Kfz/Tag
Dresden-Bergstraße	27.06.2007	31.12.2009	919	20558
Leipzig-Lützner Straße	01.01.2007	31.12.2009	1096	18317

Meteorologische Daten

Als meteorologische Größen wurden Windgeschwindigkeit und -richtung, Temperatur, Strahlung, relative Luftfeuchte und Luftdruck auf Zusammenhänge mit der NO₂-Zusatzbelastung untersucht. Unter der Annahme, dass die Hintergrundstationen (Tabelle 2) ungestörter von Bebauungseinflüssen sind, wurden die dort gemessenen Windvariablen verwendet. Für die übrigen meteorologischen Variablen wurden direkt die Messwerte der jeweiligen Verkehrsmessstelle verwendet, sofern sie dort gemessen wurden, ansonsten ebenfalls die Messwerte der zugehörigen Hintergrundstation.

3.3.2.3 Ergebnisse der statistischen Analyse

Die Zusammenhänge zwischen der NO₂-Zusatzbelastung und den in Tabelle 4 aufgeführten Einflussfaktoren wurden wie in den beiden Zwischenberichten mit Hilfe von Korrelationsmatrizen und multivariaten Regressionsanalysen untersucht.

² „PCE“ = Photochemical Equilibrium

³ Superscript „B“ für Background

Korrelationsmatrizen

Die in diesem Abschnitt dargestellten Korrelationsmatrizen zeigen die statistischen Beziehungen zwischen jeweils zwei der untersuchten Größen für die beiden betrachteten Stationen (Kapitel 3.3.2.1). Dazu ist auf der Hauptdiagonalen jeder Matrix das Histogramm jeder Variable eingezeichnet. Über der Hauptdiagonalen wird der Korrelationskoeffizient nach Pearson größenabhängig aufgetragen. Unter der Hauptdiagonalen sind die Scatter-Plots jeweils zweier Größen dargestellt, die durch eine lineare Regressionsgrade (grün) und eine mit einem lokalen Regressionsverfahren abgeleitete Kurve (blau) ergänzt werden.

Die Korrelationsmatrizen wurden auf der Basis der stündlichen Messwerte und Daten ermittelt. Tabelle 4 führt die im Folgenden auf ihre Beziehung zur NO₂-Zusatzbelastung untersuchten Variablen auf:

Tabelle 4: Beschreibung der Variablenamen in den Korrelationsmatrizen

Variable	Bedeutung
NO _x	NO _x -Zusatzbelastung
NO ₂	NO ₂ -Zusatzbelastung
PCE	Photochemisches Gleichgewicht
SumKfz	Summe der Kraftfahrzeuge
WiG	Windgeschwindigkeit
Rad	Strahlung
Tem	Temperatur
Hum	relative Feuchte
Pre	Luftdruck

Ein weiterer möglicher Einflussfaktor, die Windrichtung, wurde an dieser Stelle nicht betrachtet. Korrelationskoeffizienten in Zusammenhang mit der Windrichtung sind nicht interpretierbar, da es sich um eine zyklische Variable handelt.

Die Korrelationsmatrizen zeigen, dass der engste Zusammenhang zwischen NO₂-Zusatzbelastung und NO_x-Zusatzbelastung besteht, hier ergeben sich Korrelationskoeffizienten von 0.84 bzw. 0.76. Ein engerer Zusammenhang wird auch mit der Anzahl Kraftfahrzeuge gesehen, hier liegen die Korrelationskoeffizienten bei 0.63 bzw. 0.47. Dies entspricht in etwa den Ergebnissen aus dem 1. Zwischenbericht. Die Korrelationskoeffizienten für den Zusammenhang zwischen NO₂-Zusatzbelastung und photochemischem Gleichgewicht sind mit 0.27 bzw. 0.26 etwas höher als im 1. Zwischenbericht, der Zusammenhang ist jedoch immer noch schwächer als erwartet.

Von den meteorologischen Größen zeigen am ehesten Temperatur und relative Feuchte einen Zusammenhang mit der NO₂-Zusatzbelastung, die Korrelationskoeffizienten liegen hier zwischen 0.34 und 0.45. Für die Strahlung ergibt sich ein Korrelationskoeffizient von 0.31 bzw. 0.19. Auch dies entspricht, bis auf den niedrigeren Wert für die Strahlung an der Station Leipzig-Lützner Straße, den Ergebnissen aus den beiden Zwischenberichten. Niedrigere Werte als in den beiden Zwischenberichten weist der Korrelationskoeffizient auf, der den Zusammenhang zwischen NO₂-Zusatzbelastung und Windgeschwindigkeit beschreibt.

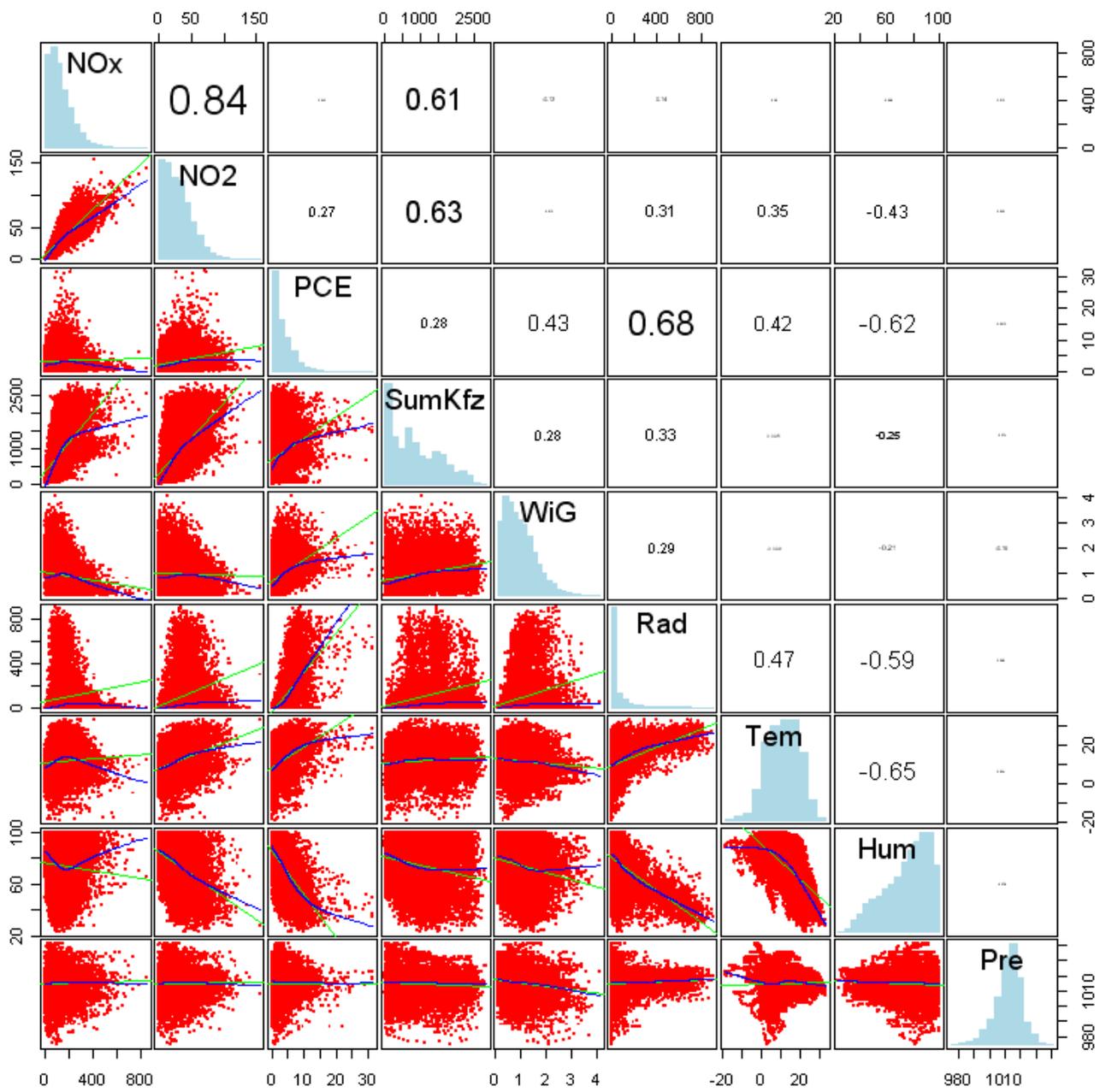


Abbildung 22: Korrelationsmatrix Dresden-Bergstraße

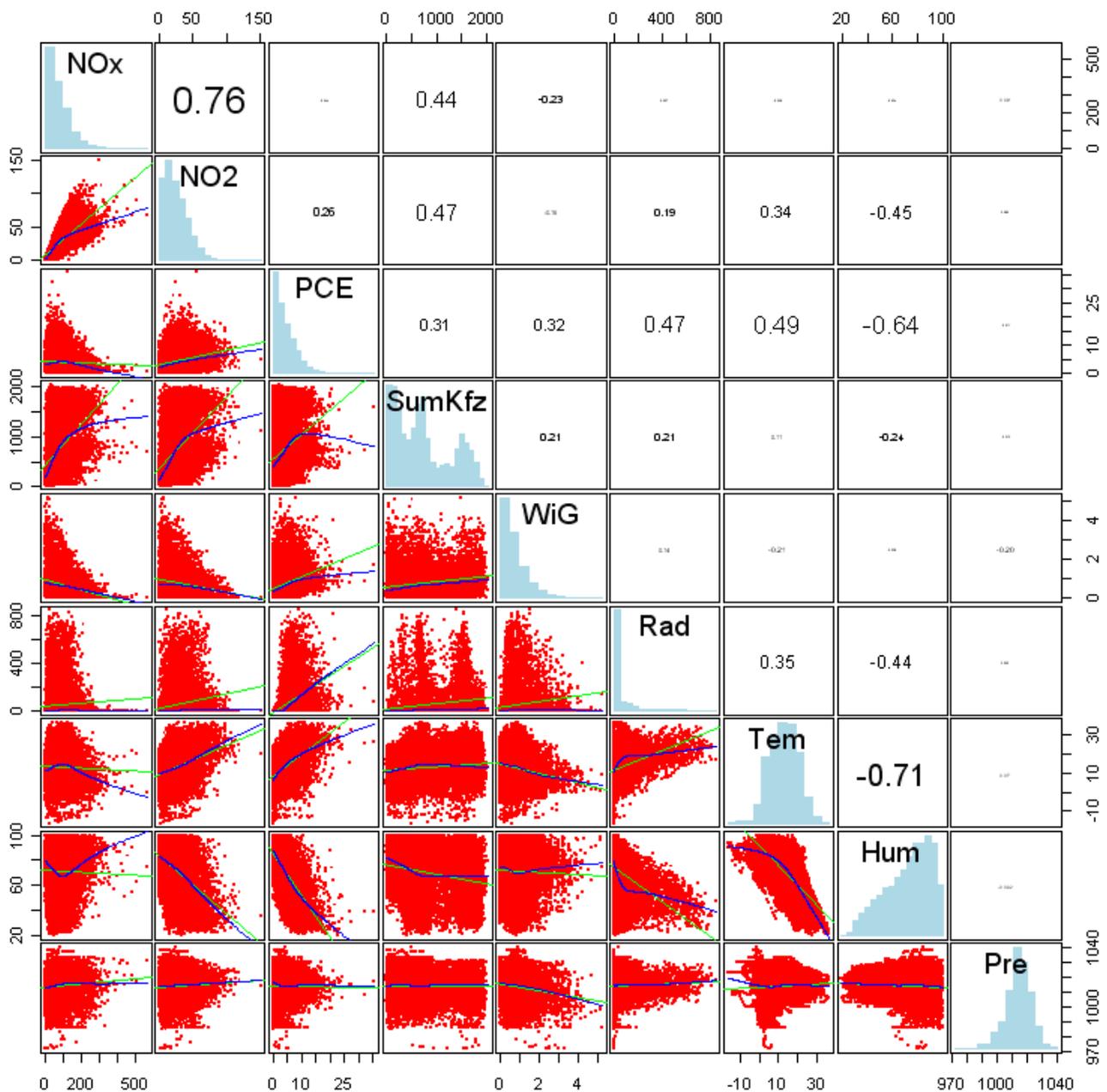


Abbildung 23: Korrelationsmatrix Leipzig-Lützner Straße

Multivariate Regressionsanalyse

Für die beiden betrachteten Stationen wurde eine Regressionsanalyse auf Stundenwertbasis durchgeführt von der NO₂-Zusatzbelastung auf die NO_x-Zusatzbelastung, das photochemische Gleichgewicht, die Summe der Kraftfahrzeuge und die meteorologischen Variablen. Hierbei wurde die zyklische Variable "Windrichtung" in acht Dummy-Variablen, entsprechend den 45°-Sektoren, umgewandelt. Die Dummy-Variablen für den Sektor von 0° bis 45° ist "Eins", wenn der Wind aus der Richtung von 0° bis 45° kommt, sonst "Null", bei den anderen sieben Windrichtung-Dummies verhält es sich entsprechend.

Der Bezugszeitraum der Regressionsanalysen ist der Untersuchungszeitraum 1995 – 2009. Aufgrund von Fehlwerten gehen für die Station Dresden-Bergstraße nur rund 12.000 Stundenwerte in die Analyse ein und für Leipzig-Lützner Straße rund 14.000. D. h., im Mittel über die beiden Straßen gehen circa 13.000 Stundenwerte in die Berechnung ein, das sind etwa eineinhalb Jahre. Der hohe Anteil an nicht berücksichtigten Stunden kommt dadurch zustande, dass die multivariate Regressionsanalyse nur Stunden berücksichtigt, in denen für alle betrachteten Variablen ein Wert vorliegt.

Der sich aus den Regressionsanalysen ergebende Erklärungswert liegt an der Station Dresden-Bergstraße bei 0.85 und an der Station Leipzig-Lützner Straße bei 0.80, d. h. es werden rund 85 % bzw. 80 % der Variation in den NO₂-Zusatzbelastungen durch die Variation in den betrachteten Variablen erklärt. Dieser Wert liegt höher als im 1. Zwischenbericht, ist mit diesem aber nur bedingt vergleichbar, da die Einflüsse von Verkehr, Ozonchemie und Meteorologie im 1. Zwischenbericht getrennt, hier jedoch gemeinsam betrachtet wurden.

Bereits aus den Korrelationsmatrizen wurde deutlich, dass der engste Zusammenhang zwischen der NO₂- und der NO_x-Zusatzbelastung besteht. Dementsprechend trägt die NO_x-Zusatzbelastung den größten Erklärungsanteil, der mittlere Erklärungsanteil nur durch die NO_x-Zusatzbelastung ist 0.64. Dies entspricht den Ergebnissen aus dem 1. Zwischenbericht. Wie dort bereits aufgeführt, sind auch hier die übrigen Variablen überwiegend signifikant, d. h., sie tragen zur Erklärung bei, wenn auch zum Teil überraschend wenig. Begründbare Einflüsse der Variablen "Temperatur", "relative Feuchte" und "Luftdruck" sind schwer zu finden, der statistische Einfluss auf die NO₂-Zusatzkonzentration ist möglicherweise auf den gemeinsamen Jahres- und Tagesgang (Saisoneinfluss) zurückzuführen. Die Variable "Strahlung" hat sicherlich einen direkten Einfluss auf die NO₂-Zusatzkonzentration über die photochemischen Zusammenhänge, aber die Trennung von Saisoneinfluss und direktem Einfluss mit statistischen Mitteln ist nicht möglich.

3.4 Prüfung eines möglichen Bedarfs für die Weiterentwicklung des sächsischen Luftmessnetzes

Im Rahmen der beiden Zwischenberichte (IVU UMWELT (2009A) und IVU UMWELT (2009B)) wurde das Luftmessnetz des Freistaats Sachsen auf redundante bzw. für die flächenhafte Aussage wichtige Messstandorte untersucht. Dazu wurden Berechnungen mit FLADIS (IVU UMWELT (2006A)) auf Basis der sächsischen Messdaten für NO_x für das Jahr 2006 durchgeführt.

Im 1. Zwischenbericht (IVU UMWELT (2009A)) wurde zum einen das Ergebnis einer reinen Interpolation der Messdaten betrachtet, zum anderen wurde das Interpolationsergebnis mit den Ergebnissen einer Ausbreitungsrechnung mit dem Modell LASAT (JANICKE (2007)) gekoppelt, um in Bereichen abseits der Messstationen zusätzliche Informationen wie Orographie, Meteorologie und Emissionsstruktur zu nutzen. Aufgrund der im 1. Zwischenbericht erzielten Ergebnisse wurde für den 2. Zwischenbericht (IVU UMWELT (2009B)) eine weitere Berechnung unter Berücksichtigung der folgenden zwei Punkte durchgeführt:

- Im 1. Zwischenbericht wurde allen Industriequellen zunächst eine pauschale Emissionshöhe zugewiesen. Die Industriequellen haben mit rund 40 % einen großen Anteil an den NO_x-Emissionen, und es zeigte sich, dass die Emissionshöhe einen sensitiven Parameter darstellt. Im 2. Zwischenbericht wurden daher die individuellen Emissionshöhen der Großfeuerungsanlagen (GFA) bei der LASAT-Ausbreitungsrechnung berücksichtigt. Den Industriequellen, die keine GFA sind, wurde weiterhin eine pauschale Emissionshöhe zugewiesen.
- Die Ergebnisse sowohl der reinen Interpolation der Messdaten als auch der Kopplung von Interpolation und LASAT-Modellergebnissen aus dem 1. Zwischenbericht zeigten im Dreieck der Stationen Chemnitz-Mitte, Glauchau und Annaberg-Buchholz verhältnismäßig hohe Konzentrationen, die emissionsseitig nicht erklärt wurden. Als möglicher Grund dafür wurde vermutet, dass die verwendeten städtischen Hintergrundstationen eine lokale Situation messen, deren räumliche Repräsentativität durch das Interpolationsverfahren überschätzt wird. Tatsächlich liegen zwei der drei genannten Stationen (Glauchau und Annaberg-Buchholz) sowie die Station Freiberg verkehrsnah. Im 2. Zwischenbericht wurde daher die flächenhafte Darstellung der Konzentrationsverteilung mit dem in Kapitel 3.4.2.1 beschriebenen Ansatz und ohne die verkehrsnahen Stationen Glauchau, Annaberg-Buchholz und Freiberg neu berechnet. Für die Station Chemnitz-Mitte wurde davon ausgegangen, dass sie den Hintergrund des Erzgebirgsvorland aufgrund lokaler Einflüsse etwas höher abbildet, als dies vermutlich der Realität entspricht. Sie wurde jedoch bei der Berechnung weiterhin berücksichtigt.

Für die drei genannten Berechnungsansätze wurde jeweils eine Kreuzvalidierung gemäß VDI Richtlinie 4280 Blatt 5 (KRDL (2009)) durchgeführt, um Aussagen über den Einfluss einzelner Stationen auf die flächenhafte Darstellung der NO_x-Verteilung zu erhalten. Im vorliegenden Endbericht werden die wichtigsten Daten und Ergebnisse aus den beiden Zwischenberichten noch einmal zusammengefasst dargestellt.

3.4.1 Betrachtetes Messnetz

Abbildung 24 zeigt die NO_x-Messstationen mit Daten für das Bezugsjahr 2006, die im 2. Zwischenbericht abschließend für die Berechnungen verwendet wurden. Da es um flächenhafte Aussagen geht, wurden verkehrsnahen Stationen nicht berücksichtigt. Dazu wurden im 2. Zwischenbericht in Absprache mit dem Auftraggeber auch die Stationen Glauchau, Annaberg-Buchholz und Freiberg gezählt. Damit verblieben 12 Messstationen, die bei der Berechnung der flächenhaften Darstellung der Konzentrationsverteilung berücksichtigt wurden. Tabelle 5 listet die Stationen mit den zugehörigen Stationscodes und der EoI-Typisierung auf. Die Typen "ländlich regional" und "ländlich abgelegen" sowie "ländlich stadtnah" und "vorstädtischer Hintergrund" wurden dabei jeweils zusammengefasst.

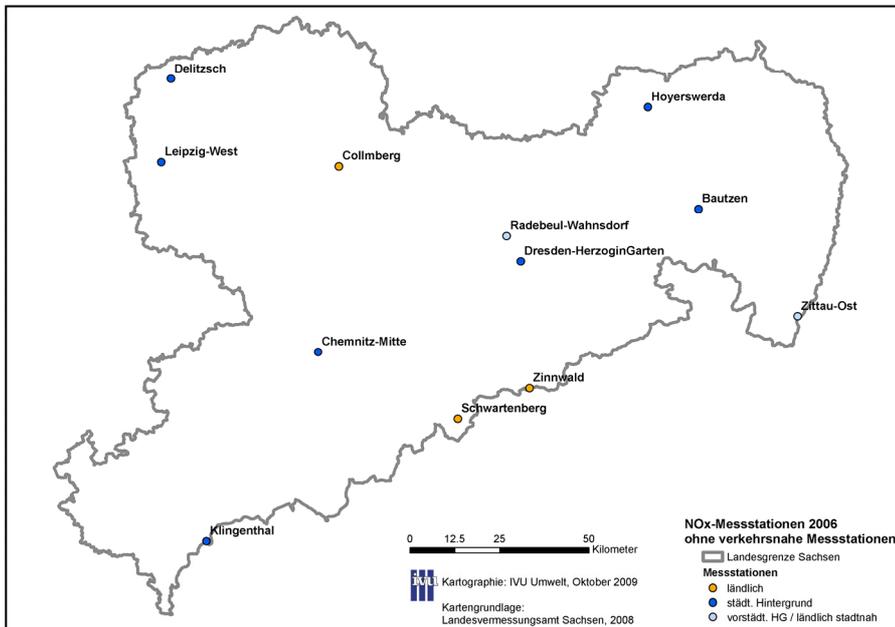


Abbildung 24: NO_x-Messstationen im Bezugsjahr 2006 ohne verkehrsnahen Stationen

Tabelle 5: Namen der verwendeten Messstationen mit Code und Typisierung

Messstation	Code	Typisierung
Bautzen	DESN004	städtischer Hintergrund
Chemnitz-Mitte	DESN011	städtischer Hintergrund
Collmburg	DESN076	ländlich regional / ländlich abgelegen
Delitzsch	DESN012	städtischer Hintergrund
Dresden-HerzoginGarten	DESN085	städtischer Hintergrund
Hoyerswerda	DESN050	städtischer Hintergrund
Klingenthal	DESN024	städtischer Hintergrund
Leipzig-West	DESN059	städtischer Hintergrund
Radebeul-Wahnsdorf	DESN051	vorstädtischer Hintergrund / ländlich stadtnah
Schwartenberg	DESN074	ländlich regional / ländlich abgelegen
Zinnwald	DESN052	ländlich regional / ländlich abgelegen
Zittau-Ost	DESN045	vorstädtischer Hintergrund / ländlich stadtnah

3.4.2 Methodik

3.4.2.1 Berechnungen mit FLADIS

Zur Berechnung der flächenhaften Darstellung der NO_x-Verteilung in Sachsen wurde im 1. Zwischenbericht mit FLADIS zum einen eine reine Interpolation der Messwerte der dort betrachteten Messstationen (IVU UMWELT (2009A), Kapitel 3.4.1) durchgeführt. Für die räumliche Interpolation von Messwerten sind verschiedene Verfahren in FLADIS implementiert. Für die vorliegende Untersuchung wurde die Hardy'sche Multiquadriken-Methode, die zu den Radialen-Basisfunktions-Methoden zählt, zur Interpolation der Messwerte gewählt. Da die Messwerte in stundenfeiner Auflösung vorlagen, wurde die Interpolation für jeden Zeitschritt durchgeführt und abschließend das Jahresmittel gebildet.

Zum anderen wurden im 1. Zwischenbericht in einem zweiten Ansatz die interpolierten Messwerte in jedem Zeitschritt mit den Ergebnissen einer LASAT-Ausbreitungsrechnung (Kapitel 3.4.2.2) gekoppelt und auch hier wieder abschließend das Jahresmittel gebildet. Auf diese Weise fließen zusätzliche Informationen wie Orographie, Meteorologie und Emissionsstruktur, die der Ausbreitungsrechnung zu Grunde gelegen haben, in das Ergebnis der FLADIS-Rechnung ein und ermöglichen eine Beurteilung des Messnetzes auch abseits der vorhandenen Stationen.

Im 2. Zwischenbericht wurden alternativ zum Kopplungsansatz im ersten Schritt die Messwerte der Stationen aus Kapitel 3.4.1 um die durch LASAT an den Stationsorten ermittelte Zusatzbelastung bereinigt. Anschließend wurden die bereinigten Messwerte interpoliert, sodass sich eine Abschätzung des großräumigen Hintergrunds in Sachsen ergab. Als Interpolationsverfahren wurde dabei wie im 1. Zwischenbericht die Hardy'sche Multiquadriken-Methode verwendet. Im letzten Schritt wurden der großräumige Hintergrund und die Ergebnisse der LASAT-Ausbreitungsrechnung addiert, um die aus Hintergrund und berücksichtigten Emissionen resultierende Gesamtbelastung zu erhalten. Die Rechenschritte wurden mit FLADIS für jeden Zeitschritt der stündlich aufgelösten Zeitreihe 2006 durchgeführt.

Die Vorgehensweise im 2. Zwischenbericht unterscheidet sich von dem in FLADIS als Standard zur Kopplung von Messung und Modell implementierten und im 1. Zwischenbericht verwendeten Ansatz dahingehend, dass bei Letzterem eine Interpolation der gemessenen Gesamtbelastung durchgeführt wird, deren Ergebnis mit dem Ergebnis der Ausbreitungsrechnung (hier aus LASAT) über einen Wichtungsfaktor gekoppelt wird. Bei der für den 2. Zwischenbericht implementierten Vorgehensweise hingegen wird die Differenz aus gemessener Gesamtbelastung und berechneter Zusatzbelastung interpoliert. Damit sollte erreicht werden, dass die räumliche Repräsentativität der zu interpolierenden Daten der räumlichen Skala des Interpolationsverfahrens besser angepasst ist.

Für die drei beschriebenen Ansätze wurde für jeden Zeitschritt eine Kreuzvalidierung nach dem "leave-one-out"-Verfahren gemäß der VDI Richtlinie 4280 Blatt 5 (KRdL (2009)) durchgeführt, um Aussagen über den Einfluss einzelner Stationen auf die flächenhafte Darstellung der NO_x-Verteilung zu erhalten.

3.4.2.2 Ausbreitungsrechnungen mit LASAT

Das Ausbreitungsmodell LASAT (Version 3.0, JANICKE (2007)) ist ein Partikelmodell nach Richtlinie VDI 3945 Blatt 3 (KRdL (2000)). Es berechnet die Ausbreitung von Spurenstoffen in der Atmosphäre, indem es für ein repräsentatives Ensemble von Spurenstoff-Partikeln die Bewegung mit Hilfe eines stochastischen Prozesses simuliert (Lagrange-Verfahren). Ein Partikelmodell ermöglicht die rechnerische Behandlung von zeitabhängigen Ausbreitungssituationen und komplexen Quellkonfigurationen. Das Ergebnis der Ausbreitungsrechnung ist die Konzentrationsverteilung im Modellgebiet, die aus den berücksichtigten Emissionsquellen resultiert.

Für die Berechnungen in den beiden Zwischenberichten lagen NO_x-Emissionen für alle Quellgruppen (Industrie, Verkehr, Hausbrand, Kleinverbraucher, Landwirtschaft) vor. Die LASAT-Ausbreitungsrechnungen, in die die Emissionen eingehen, wurden daher für NO_x durchgeführt. Zwar kann dann aus dem Jahresmittelwert der NO_x-Gesamtbelastung mittels statistischer Verfahren der Jahresmittelwert der NO₂-Gesamtbelastung bestimmt werden (z. B. IVU UMWELT (2002)). Da jedoch die Berechnung und Kreuzvalidierung in FLADIS auf der Basis stündlicher Zeitschritte erfolgen, wurde auch dort durchgängig NO_x betrachtet.

Modellgebiet, Orographie und Meteorologie

Modellgebiet, Orographie und Meteorologie für die Ausbreitungsrechnungen mit LASAT wurden im 1. Zwischenbericht ausführlich beschrieben und im 2. Zwischenbericht unverändert verwendet. Es wurde ein Modellgebiet von 243 km x 190 km

definiert, das mit einem Rastergitter von 1 km Rastergröße aufgelöst wurde. Die orographischen Daten wurden mit der gleichen Auflösung ermittelt, sodass für jede Rasterzelle des Rastergitters ein Wert der Geländehöhe vorlag. Als meteorologische Daten wurde die Ausbreitungsklassen-Zeitreihe (AKTerm) mit Bezugsjahr 2006 der Messstation Leipzig-Schkeuditz verwendet.

Emissionen

Für die Ausbreitungsrechnungen standen NO_x-Emissionen für die Quellgruppen Industrie, Verkehr, Hausbrand, Kleinverbraucher und Landwirtschaft für das Bezugsjahr 2004 bzw. 2005 in ihrer horizontalen räumlichen Verteilung zur Verfügung. Für die Großfeuerungsanlagen (GFA) lagen im 2. Zwischenbericht zudem Informationen über Emissionshöhe, Temperatur und Volumenstrom des Abgases der einzelnen Quellen vor, sodass sie in den LASAT-Rechnungen als Punktquellen mit individueller Höhe berücksichtigt werden konnten. Abbildung 25 zeigt die Summe der Emissionen der berücksichtigten Quellgruppen im für die LASAT-Rechnungen verwendeten 1 km-Raster. Deutlich sind das Straßennetz und bewohnte Flächen zu erkennen. Die im 2. Zwischenbericht als Punktquellen berücksichtigten GFA sind in Abbildung 25 als Punkte dargestellt, eingefärbt nach dem emittierten NO_x in Tonnen pro Jahr.

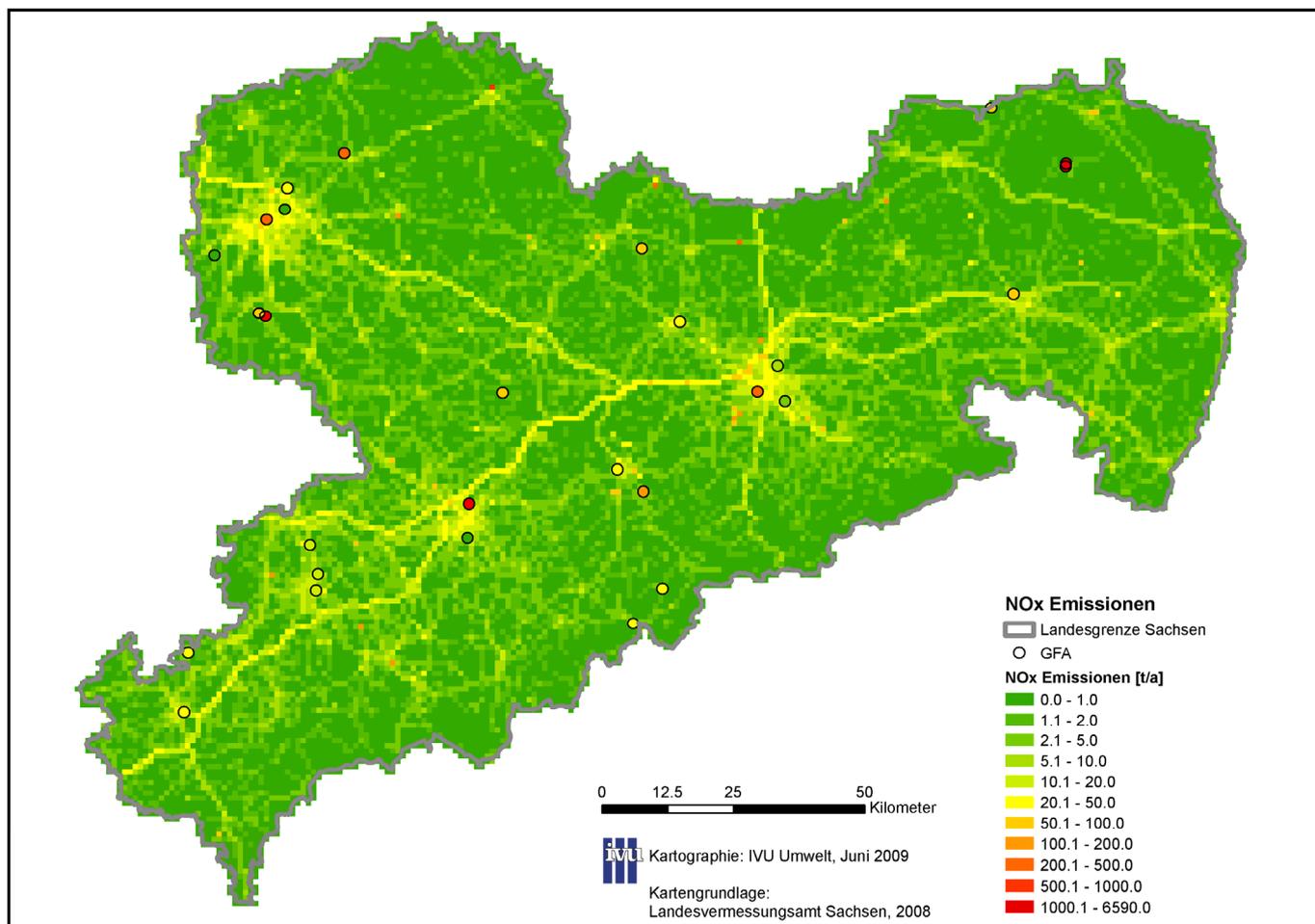


Abbildung 25: NO_x-Emissionen als Summe der Quellen Industrie (ohne GFA), Verkehr, Hausbrand, Kleinverbraucher und Landwirtschaft im 1 km-Raster. NO_x-Emissionen der GFA als Punktquellen.

In Tabelle 6 ist die Summe der NO_x-Emissionen bezogen auf die Quellgruppe und insgesamt sowie der Anteil der einzelnen Quellgruppen an der Gesamtsumme der NO_x-Emissionen aufgelistet. Für die zur Verfügung gestellten Emissionsdaten waren nur für die GFA-Emissionshöhen vorgegeben. Für die anderen Quellgruppen wurden pauschalisierte Angaben gemäß Tabelle 6 verwendet. Der Einfluss der Emissionshöhen der bodennah bis 20 m emittierenden Quellen auf die regionale Vorbelastung wird eher als gering angesehen.

Tabelle 6: Emissionshöhe, emittierte Masse und Anteil der einzelnen Quellgruppen

Quellart	Emissionshöhe [m]	NO _x [t/a]	Anteil [%]
Industrie (GFA)	individuell vorgegeben	21509.1	31.6
Industrie (sonstige)	40.0	6589.6	9.7
Verkehr	0.5	34664.6	50.9
Hausbrand	20.0	3320.7	4.9
Kleinverbraucher	5.0	1114.3	1.6
Landwirtschaft	1.0	857.5	1.3
Summe	-	68055.8	100

Immissionsberechnung

Abbildung 26 zeigt die Ergebnisse der LASAT-Rechnungen aus dem 2. Zwischenbericht unter Berücksichtigung der GFA als Punktquellen mit individueller Emissionshöhe. Die dargestellte Modellschicht 3-5 m umfasst die Höhe der Messstationen (Probenahmehöhe 3.5 m). Die Ergebnisse weisen die höchsten Konzentrationen im Bereich der Städte Dresden, Chemnitz und Leipzig sowie entlang der Autobahnen auf. Eine ausführlichere Diskussion der Ergebnisse findet sich im 2. Zwischenbericht.

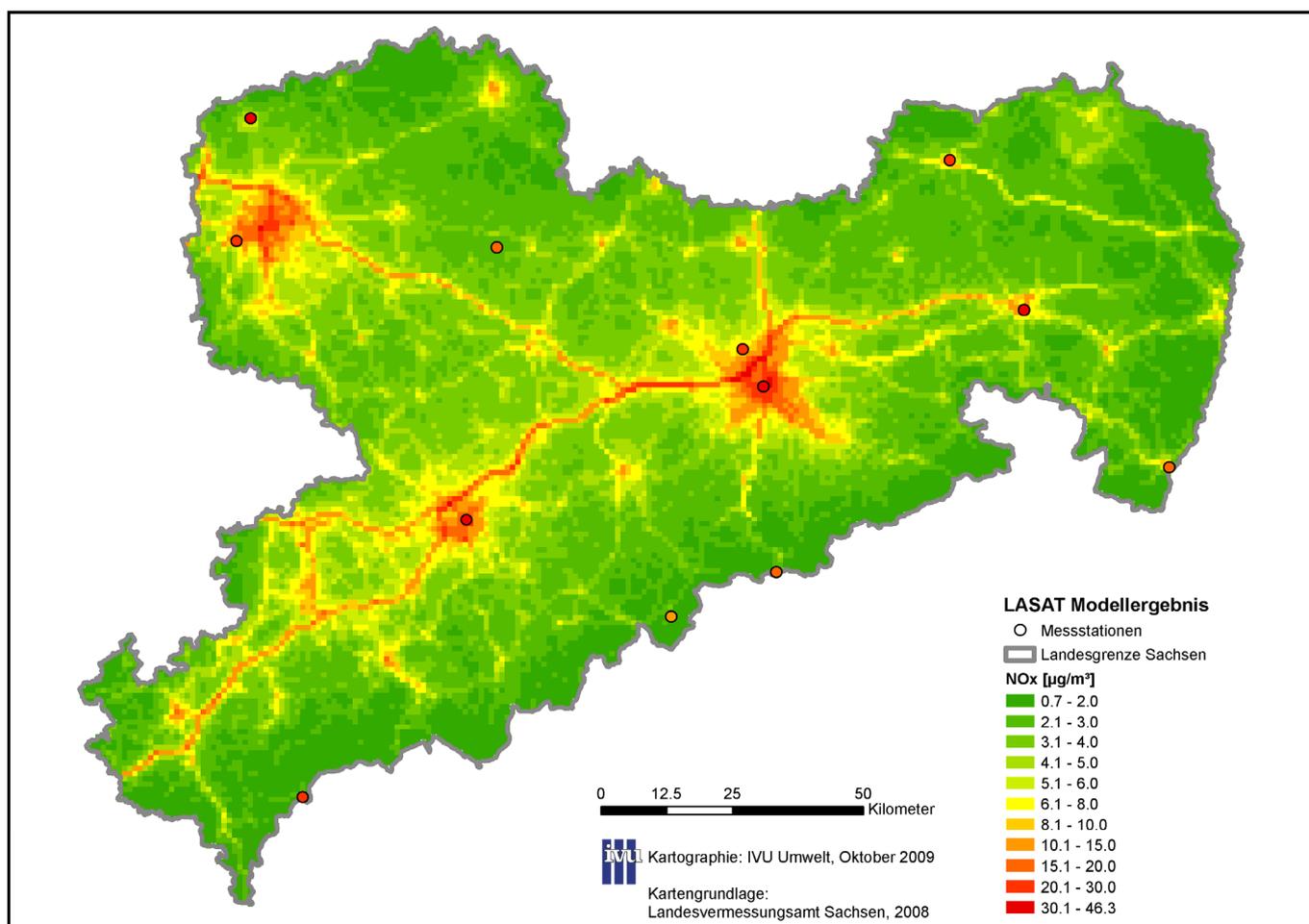


Abbildung 26: Verteilung der NO_x-Konzentrationen 2006 als Ergebnis der LASAT-Rechnung. Messwerte als farbige Kreise dargestellt.

3.4.3 Ergebnisse

Abbildung 27 zeigt die Abschätzung des großräumigen Hintergrunds für NO_x in Sachsen aus dem 2. Zwischenbericht, die sich ergibt, wenn die um die mit LASAT berechnete Zusatzbelastung bereinigten Messwerte interpoliert werden. Die gemessene Gesamtbelastung wird durch Punkte in der gleichen Farbskala dargestellt.

Wie im 2. Zwischenbericht diskutiert, zeigen die Ergebnisse, dass für die berechnete NO_x -Verteilung weniger der gewählte Berechnungsansatz als vielmehr die Auswahl der zu verwendenden Stationen ausschlaggebend ist. Stationen mit geringer räumlicher Repräsentativität wie die im 2. Zwischenbericht nicht mehr berücksichtigten Stationen Glauchau, Annaberg-Buchholz und Freiberg sind für die Berechnung einer flächenhaften Darstellung der Konzentrationsverteilung nicht hinreichend geeignet. Insofern wäre die Errichtung von Messstationen mit höherer räumlicher Repräsentativität gerade im Südwesten Sachsens wünschenswert.

Alternativ dazu besteht die Möglichkeit, Messwerte an verkehrsnahen oder anderweitig lokal beeinflussten Stationen über eine Nahfeldbetrachtung zu korrigieren, um die Anzahl räumlich repräsentativer Messstationen zu erhöhen. Bei einer Nahfeldbetrachtung wird für die Rasterzellen, in denen die entsprechenden Messstationen liegen, eine hoch aufgelöste Modellrechnung (im Meter- oder Dekameterbereich) durchgeführt und mit den Modellergebnissen im 1 km-Raster verglichen. Daraus lassen sich objektive Korrekturfaktoren für die Messwerte bestimmen, die die unterschiedliche räumliche Repräsentativität von Messung und Modell berücksichtigen. Dieses Vorgehen wurde z. B. auch in DIEGMANN, V. (2009) angewendet.

In Abbildung 28 ist die Verteilung der NO_x -Gesamtbelastung als Summe aus großräumigem Hintergrund (Abbildung 27) und mit LASAT berechneter Zusatzbelastung (Abbildung 26) dargestellt, wie sie im 2. Zwischenbericht berechnet wurde. Maximalwerte ergeben sich wie zu erwarten auch hier im Bereich der Städte Dresden, Chemnitz und Leipzig sowie entlang der Autobahnen, insbesondere entlang der A4 und der A72.

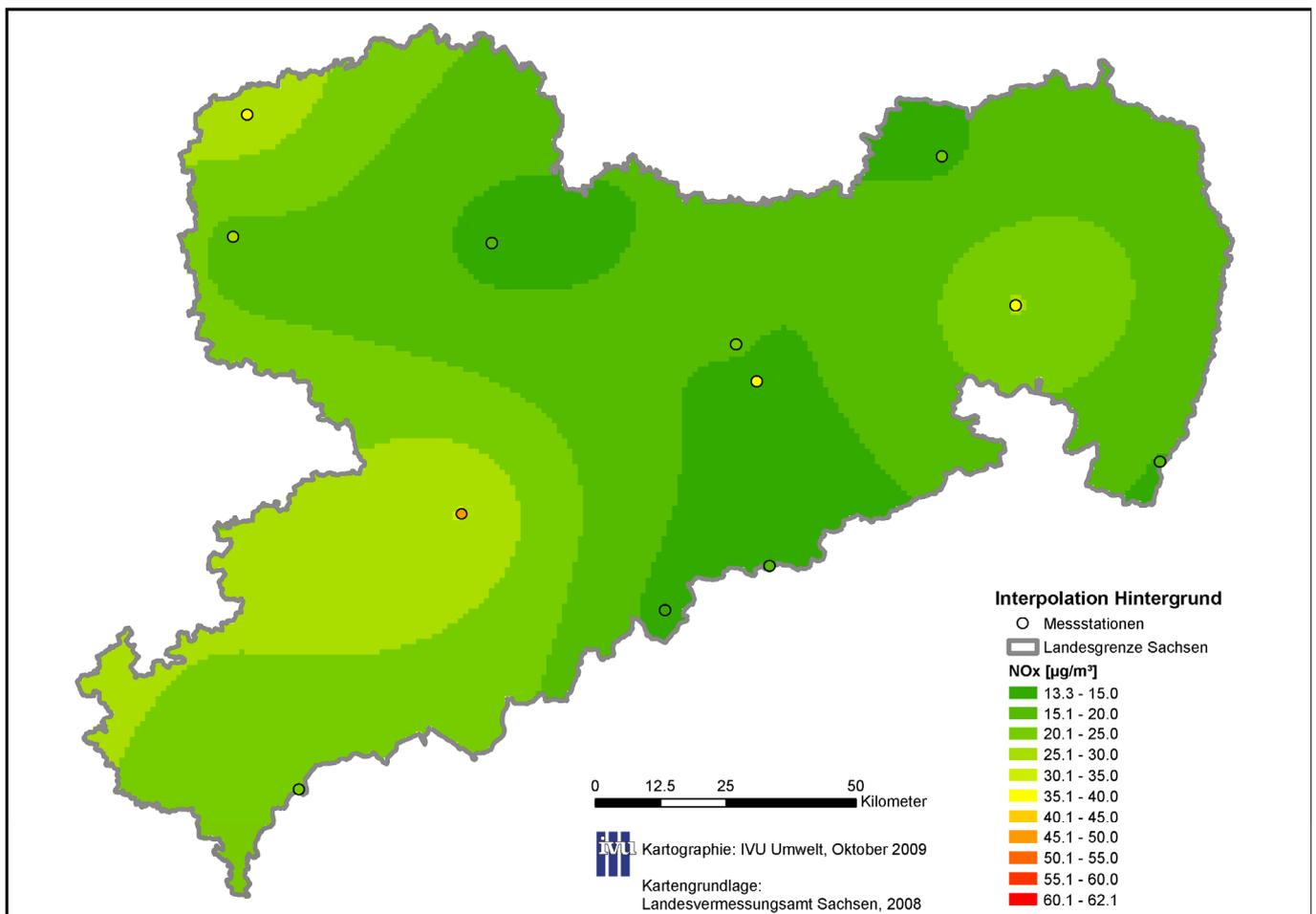


Abbildung 27: Verteilung der NO_x -Konzentrationen 2006 als Ergebnis der FLADIS-Rechnung: Großräumiger Hintergrund aus Interpolation der bereinigten Messwerte; Messwerte als farbige Kreise dargestellt.

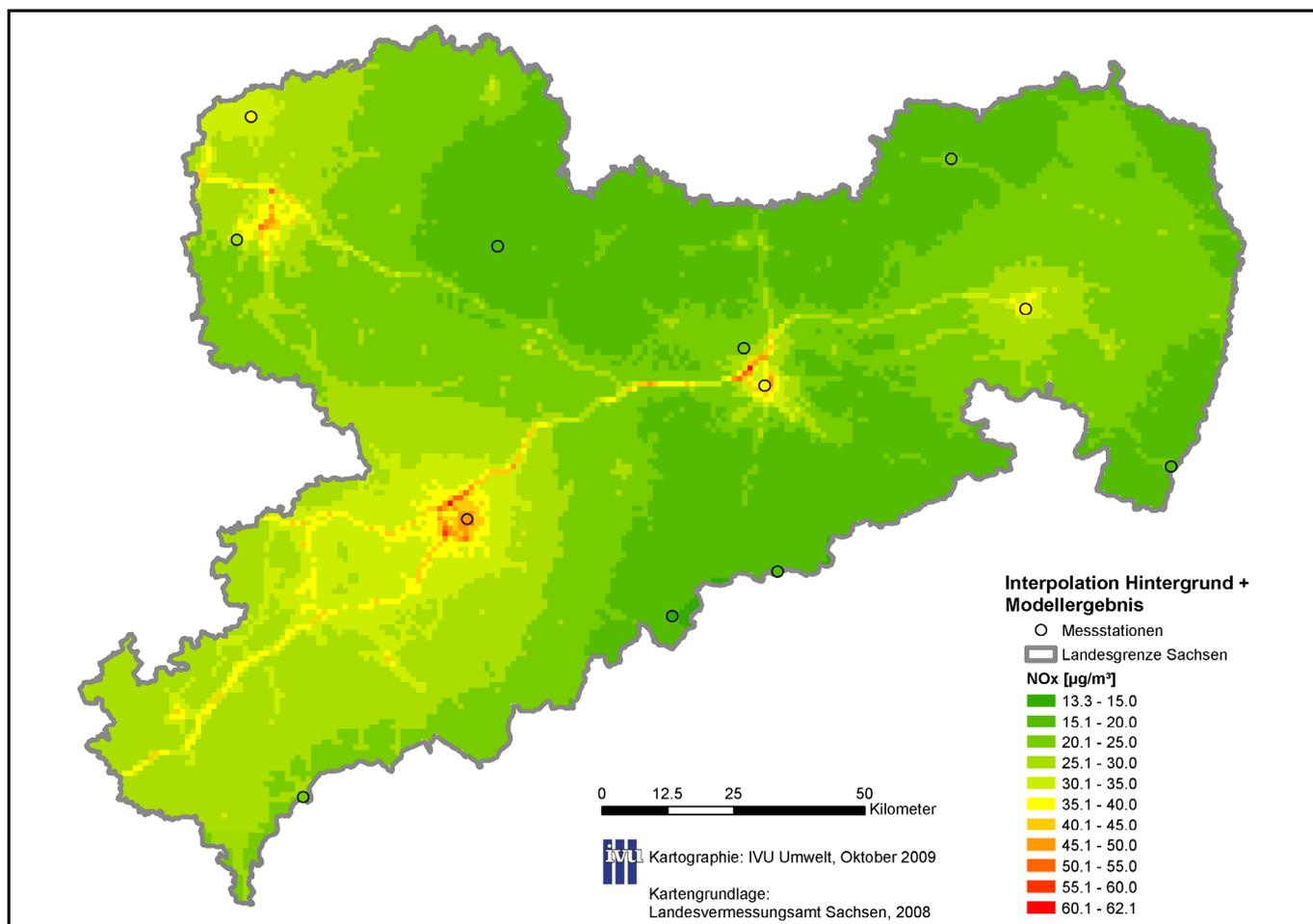


Abbildung 28: Verteilung der NO_x-Konzentrationen 2006 als Ergebnis der FLADIS-Rechnung: Gesamtbelastung als Summe aus großräumigem Hintergrund und Zusatzbelastung aus LASAT; Messwerte als farbige Kreise dargestellt.

3.4.4 Auswertung

Um Aussagen über den Einfluss einzelner Stationen auf die flächenhafte Darstellung, aber auch über die Güte der berechneten räumlichen Konzentrationsverteilung machen zu können, wurde für jeden der berechneten Fälle eine Kreuzvalidierung durchgeführt. Das in FLADIS für die Kreuzvalidierung implementierte "leave-one-out"-Verfahren wurde im 1. Zwischenbericht erläutert.

Abbildung 29 zeigt zusammenfassend als Ergebnis der Kreuzvalidierung für die in den beiden Zwischenberichten verwendeten Ansätze die mittlere relative Abweichung an jeder Station für das Jahr 2006, aufsteigend sortiert für die Werte der reinen Interpolation. Die verhältnismäßig hohen Messwerte der im 2. Zwischenbericht als verkehrsnah eingestuft Stationen Glauchau, Annaberg-Buchholz und Freiberg haben im 1. Zwischenbericht bei der Interpolation einen relativ starken Konzentrationsgradienten im Modellgebiet bewirkt, der in der Kreuzvalidierung zu großen relativen Abweichungen an den umliegenden Stationen, insbesondere in den Randbereichen (z. B. Klingenthal, Schwartenberg) geführt hat. Die Nicht-Berücksichtigung der drei Stationen im 2. Zwischenbericht führte entsprechend zu einer Verminderung der relativen Abweichungen an den angrenzenden Stationen. Die Frage des im 1. Zwischenbericht diskutierten Extrapolationsverhalten spielt daher bei den Ergebnissen des 2. Zwischenberichts eine geringere Rolle, da die Extrapolation bei flacheren Gradienten geringere Fehler aufweist. Nichtsdestoweniger bleibt die Thematik bestehen, da nur wenige der sächsischen Hintergrundstationen in jedem Fall innerhalb der konvexen Hülle der zur Verfügung stehenden Messorte liegen. Es empfiehlt sich daher weiterhin, Messwerte von Stationen in direkter Nachbarschaft außerhalb Sachsens in die Berechnungen einzubeziehen, um in den Randbereichen des Untersuchungsgebiets verlässliche Ergebnisse zu erzielen. Dieses Vorgehen wurde z. B. auch in IVU UMWELT (2006B) angewendet.

In Tabelle 7 sind der Root Mean Square Error und der Mittelwert der mittleren relativen Abweichung über alle Stationen für die verschiedenen in den beiden Zwischenberichten verwendeten Ansätze aufgelistet. Im 1. Zwischenbericht wurden Werte für den Root Mean Square Error von rund 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ und für die mittlere relative Abweichung von rund 44 % berechnet. Für den Ansatz im 2. Zwischenbericht ergab die Kreuzvalidierung einen Root Mean Square Error von 9.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ und eine mittlere relative Abweichung von 33.2 %. Die niedrigeren Kennwerte im 2. Zwischenbericht sind dabei vor allem durch die oben beschriebenen geringeren relativen Abweichungen an den Stationen im Umfeld der nicht mehr berücksichtigten Stationen Glauchau, Annaberg-Buchholz und Freiberg bedingt.

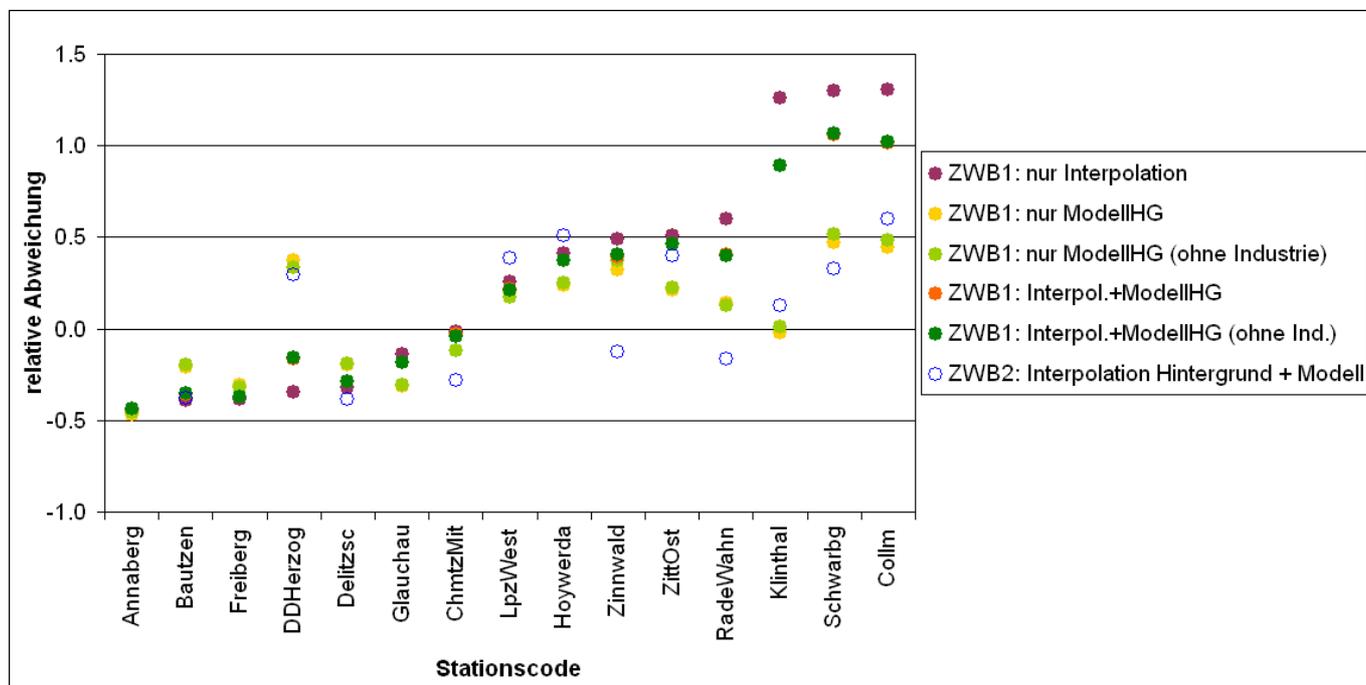


Abbildung 29: Kreuzvalidierung, Jahresmittel 2006; Mittlere relative Abweichung an den einzelnen Stationsorten für die verschiedenen in den beiden Zwischenberichten (ZWB1 und ZWB2) verwendeten Ansätze, aufsteigend für reine Interpolation sortiert.

Tabelle 7: Root mean square error und mittlere relative Abweichung der Kreuzvalidierung für die FLADIS-Ergebnisse

	root mean square error [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	mittlere relative Abweichung [%]
Ergebnisse 2. Zwischenbericht (ohne Stationen Glauchau, Annaberg-Buchholz, Freiberg)		
Interpolation Hintergrund + Modellergebnis	9.6	33.2
Ergebnisse 1. Zwischenbericht (mit Stationen Glauchau, Annaberg-Buchholz, Freiberg)		
nur Interpolation	15.6	54.4
Interpolation + Modellhintergrund, Industriequellen Höhe = 40 m	13.0	44.4
Interpolation + Modellhintergrund, keine Industriequellen	13.0	44.5

Um das Luftmessnetz des Freistaats Sachsen auf redundante bzw. für eine flächenhafte Aussage wichtige Messstandorte zu untersuchen, wurden im 1. Zwischenbericht zunächst die Redundanzen untersucht. Als Kriterium für Redundanz wurde dabei die Zielsetzung der Station und das Qualitätsziel für die Modellierung der flächenhaften Darstellung herangezogen. Als Qualitätsziel wurde definiert, dass das Ergebnis einer Modellrechnung am Stationsort auch ohne zugehörigen Messwert nicht mehr als 20 % bzw. 30 % von diesem Messwert abweichen würde, wenn er den gemessen worden wäre. Dies entspricht einer

mittleren relativen Abweichung von < 20 % bzw. < 30 % bei der Kreuzvalidierung. Demnach wäre jeweils eine Station der Paare Chemnitz-Mitte – Glauchau und Leipzig-West – Delitzsch sowie die Station Dresden-HerzoginGarten redundant für die Bildung flächenhafter Aussagen. Bei Verwendung der Ergebnisse aus dem 2. Zwischenbericht wären die Stationen Zinnwald, Klingenthal und Radebeul-Wahnsdorf sowie (bei Verwendung des Qualitätsziels „< 30 %“) Chemnitz-Mitte und Dresden-HerzoginGarten redundant für diese Aufgabe. Die Relevanz dieser Stationen bezüglich ihrer Aufgabe als städtische oder ländliche Hintergrundstationen bleibt von dieser Aussage unberührt und wird an dieser Stelle nicht bewertet. Grundsätzlich werden aber die berechneten relativen Abweichungen insgesamt als verhältnismäßig hoch und damit das Qualitätsziel als zu weich angesehen. Bei Verwendung eines Qualitätsziels „< 10 %“ wäre keine der betrachteten Messtationen redundant.

Im 1. Zwischenbericht wurden weiterhin mögliche Positionen neuer Messstandorte untersucht. Als wesentliche Ergänzung wurde dort eine Messstation mit hinreichend hoher räumlicher Repräsentativität im Bereich der im 2. Zwischenbericht nicht mehr berücksichtigten Stationen Glauchau und Annaberg-Buchholz genannt. Dies wurde durch die Untersuchungen im 2. Zwischenbericht (siehe auch Kapitel 3.4.3) unterstrichen. Im Rahmen einer möglichst vollständigen Darstellung der Konzentrationsverteilung im gesamten Freistaat Sachsen und in Abhängigkeit von bereits vorhandenen Stationen in direkter Nachbarschaft außerhalb Sachsens wären auch weitere Stationen im nördlichen, östlichen und südwestlichen Randbereich des Bundeslandes interessant.

4 Verursacher der NO₂-Belastung in Sachsen

4.1 Aussagen der Luftreinhaltepläne in Sachsen

Es liegen folgende Luftreinhaltepläne für das Land Sachsen vor (Stand 31.08.2010):

- RP Chemnitz 2008: Luftreinhalteplan für die Stadt Chemnitz. Regierungspräsidium Chemnitz. 2008.
- RP Dresden 2008: Luftreinhalte- und Aktionsplan für die Stadt Dresden. Regierungspräsidium Dresden. 2008.
- RP Dresden 2008: Luftreinhalteplan für die Stadt Görlitz. Regierungspräsidium Dresden. 2008.
- LfUG Sachsen 2005: Luftreinhalteplan für die Stadt Leipzig. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie. 2005.
- Stadt Leipzig: Luftreinhalteplan für die Stadt Leipzig. Endfassung. Stadt Leipzig, 2009.
- Landratsamt Vogtlandkreis: Luftreinhalteplan für die Stadt Plauen. Landratsamt Vogtlandkreis, 2009.

Tabelle 8 zeigt die bis zum 31.08.2010 vorgelegten sächsischen Luftreinhaltepläne im Überblick.

Tabelle 8: Luftreinhaltepläne in Sachsen

Gebiet	Überschreitung NO ₂	Typ	Stand	
Chemnitz	ja	LRP	Endfassung	12.06.2008
Dresden	ja	LRP/AP	Endfassung	19.05.2008
Görlitz	nein	LRP	Endfassung	April 2008
Leipzig	ja	LRP	Endfassung	15.09.2005
Leipzig	ja	Fortschreibung LRP	Endfassung	18.12.2009
Plauen	nein	LRP	Endfassung	24.09.2009

In fünf der sechs vorliegenden Luftreinhaltepläne wurden Daten zur verursacherbezogenen Quellanalyse bezogen auf den Schadstoff NO_x bzw. NO₂ vorgelegt. Obwohl Görlitz und Plauen keine NO₂-Überschreitung zu verzeichnen haben, wurden jeweils Daten zur verursacherbezogenen Quellanalyse für NO_x genannt. Tabelle 9 führt die in den Luftreinhalteplänen getroffenen Aussagen zur Verursacheranalyse auf. Zu beachten ist, dass sich die Daten auf verschiedene Bezugsjahre beziehen.

Bei der verursacherbezogenen Quellanalyse wurden folgende Abkürzungen verwendet: Ferntransport (FT), Kfz-Verkehr (Kfz), Industrie - Gewerbe - Großfeuerungsanlagen (Ind), Verkehr Sonstige (VS - Flugverkehr, Schifffahrt, Schienenverkehr), Hausbrand (Haus), Kleinverbraucher (Klein), Landwirtschaft (Land) und Summe (Sum).

Tabelle 9: Verursacherbezogene Quellanalyse für NO_x bzw. NO₂

Messstation	BJ	FT in %	Kfz in %	Ind in %	VS in %	Haus in %	Klein in %	Land in %	Sum in %	Seite
Chemnitz - Leipziger Str.	2001 bis 2005	11	81	4	1	2	0.8	0.1	99.9	47
Dresden - Bergstr.	2001 bis 2005	12	74	7	3		4		100	46
Görlitz - Zeppelinstr.	2001 bis 2005	21	31	23	19		5	1	100	40
Leipzig - Mitte	1999 bis 2004	21	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	-	35
Leipzig - Mitte	2001 bis 2005	12	78	5	1		4	0.08	100.08	43
Plauen – Süd	2003 bis 2007	20	73	3	k. A.		4.1	0.3	100.4	32

BJ: Bezugsjahr

FT: Ferntransport; Kfz: Kfz-Verkehr; Ind: Industrie, Gewerbe und Großfeuerungsanlagen; VS: Verkehr Sonstige (Flugverkehr, Schifffahrt, Schienenverkehr); Haus: Hausbrand; Klein: Kleinverbraucher; Land: Landwirtschaft; Sum: Summe

k. A.: keine Angabe

In allen Plänen, zu denen eine Quellanalyse vorliegt, wird der Kfz-Verkehr als Hauptverursacher benannt. Die höchsten Werte bei der Belastung durch den Kfz-Verkehr finden sich in Chemnitz mit einem Anteil von 81 %. Die drei Pläne mit NO₂-Überschreitungen, zu denen eine Quellanalyse vorliegt, nennen Anteile des Kfz-Verkehrs von mindestens 70 %. In Görlitz und Plauen, wo keine NO₂-Überschreitung verzeichnet wurden, addieren sich die Immissionen des Gesamtverkehrs (Kfz + Sonstiger Verkehr) zu einem Anteil von 50 % (Görlitz) bzw. 76 % (Plauen).

Auffällig ist in Görlitz der hohe Anteil von Industrie, Gewerbe und Großfeuerungsanlagen, der 23 % ausmacht. Die Industriequellen zeigen in den drei Plänen mit NO₂-Überschreitungen, zu denen eine Quellanalyse vorliegt, einen Anteil von unter 10 %.

Der Anteil des Ferntransports wird in den drei Plänen mit NO₂-Überschreitungen, zu denen eine Quellanalyse vorliegt, mit ca. 10 % aufgeführt. Das Maximum des Ferntransports findet sich mit einem Anteil von 21 % in Görlitz, wo keine NO₂-Überschreitung verzeichnet wurde. Für Leipzig nennt der Luftreinhalteplan vom 15.09.2005 ebenfalls einen Ferntransportanteil von 21 %, in der Fortschreibung vom 18.12.2009 werden nur noch 12 % angegeben. Möglicher Grund der Diskrepanz ist die unterschiedliche Methodik der Quellanalyse in den beiden Leipziger Plänen. In Plauen, wo wie in Görlitz keine NO₂-Überschreitung verzeichnet wurde, ist der Anteil des Ferntransports mit 20 % ebenfalls relativ hoch.

Die Quellanalyse wurde in den vorliegenden Luftreinhalteplänen auf unterschiedliche Art und Weise durchgeführt:

- In einem Plan (Leipzig, 15.09.2005) wurde nur der Anteil des Ferntransports an der Gesamtbelastung der innerstädtischen Verkehrsmessstationen bestimmt. Hierzu wurde das Verhältnis der Messwerte ländlicher Hintergrundstationen zu Verkehrsmessstation gebildet.
- In vier Plänen (Chemnitz, Dresden, Görlitz, Plauen) wurde die Quellanalyse auf der Basis von Referenzniveaus und Modellrechnungen durchgeführt. Dabei wurde angenommen, dass der Ferneintrag in den jeweils untersuchten Bereich dem regionalen Hintergrundniveau um diesen Bereich entspricht. Das regionale Hintergrundniveau wurde jeweils der Modellrechnung IMMIKART FS Sachsen des LfULG entnommen. Der Beitrag des Kfz-Verkehrs wurde mit dem Modell

PROKAS ermittelt und der Beitrag der restlichen Quellen mit den Messwerten an der Messstation kalibriert. Der Beitrag der restlichen Quellen der Stadt wurde prozentual auf die erhobenen Emissionsdaten aufgeteilt.

- In einem Plan (Leipzig, Fortschreibung, 18.12.2009) ist die Methodik der Quellanalyse nur verkürzt beschrieben. Es wird davon ausgegangen, dass die Methodik derjenigen der Pläne Chemnitz, Dresden, Görlitz und Plauen entspricht.

Die Aufteilung der „restlichen Quellen der Stadt“ entsprechend der Emissionsanteile der städtischen Verursacher vernachlässigt, dass bei der Transmission zum Hotspot sehr unterschiedliche Verhältnisse je nach Quellart und –ort zum Tragen kommen. Einer Modellberechnung des Beitrags des städtischen Hintergrunds im Hotspot, die neben dem Straßenverkehr auch die anderen Quellen berücksichtigt, wäre der Vorzug zu geben. Dabei wäre darauf zu achten, dass mögliche relevante besondere Quellstrukturen im Nahbereich des Hotspots mittels einer hohen Datenqualität des entsprechenden Emissionskatasters abgebildet werden (erfordert hohen Aufwand für die Datenerhebung).

Soweit in der Verursacheranalyse der vorliegenden Luftreinhaltepläne der Romberg-Ansatz zur Ableitung des NO₂-Jahresmittelwertes aus modellierten NO_x-Konzentrationen angewendet wurde, kann nach den Auswertungen in Kapitel 3.2.4 abgeleitet werden, dass dieses Verfahren unter den Bedingungen in Sachsen bisher nicht zu einer entscheidenden Fehlinterpretation geführt hat, da es bezogen auf Mittelwerten der Konzentrationen an Verkehrsmessstellen in Sachsen weiterhin einen eher konservativen Ansatz darstellt. Eine signifikante Unterschätzung trat bisher erst bei NO₂-Konzentrationen über 55 µg/m³ auf.

4.2 Analyse der sächsischen Kfz-Flotte, Vergleich mit der Flotte des HBEFA 3.1

4.2.1 Pkw

Für Pkw liegen aus KRAFTFAHRT-BUNDESAMT (2010A) und KRAFTFAHRT-BUNDESAMT (2010B) statistische Angaben des KBA zum Fahrzeugbestand zu den Anteilen von Benzin/Diesel, Emissionsstufen und von Hubraumklassen für Sachsen und das Bundesgebiet insgesamt für das Bezugsjahr 2009 (Stichtag 01.01.2010) vor. Die Anteile Benzin/Diesel sind in Tabelle 10 und Abbildung 30 zusammengestellt. Der Bestandsanteil an Diesel-Pkw ist in Sachsen um 7,5 % geringer als im Bundesdurchschnitt. Allerdings liegen die Diesel-Anteile in Leipzig und mehr noch in Dresden über dem Landesdurchschnitt. In Abbildung 30 sind zum Vergleich auch die Fahrleistungsanteile aus dem Handbuch für Emissionsfaktoren Version 3.1 (HBEFA 3.1) für 2009 angegeben. Diese sind für Diesel-Pkw rund 50 % höher als die Bestandsanteile für Deutschland.

Eine entsprechende Statistik für Hubraumklassen ist in Tabelle 11 und Abbildung 31 zusammengestellt. Der Bestandsanteil kleinerer Fahrzeuge ist in Sachsen deutlich größer als im Bundesdurchschnitt. Dies ist aber für die Emissionsmodellierung von nachrangiger Bedeutung, da das HBEFA 3.1 für alle Hubraumklassen innerhalb einer Antriebsart dieselben Schadstoffemissionen enthält.

Die Statistiken für die Emissionsstufen von Benzinern und Diesel sind in Abbildung 32 und Abbildung 33 zusammengestellt. In Leipzig und Dresden sind die Bestandsanteile von Fahrzeugen der Emissionsstufen Euro 4 und 5 größer als im Landesdurchschnitt und auch im Bundesdurchschnitt, insbesondere für Pkw mit Dieselmotor. Auch hier sind wieder die Fahrleistungsanteile aus dem HBEFA 3.1 angegeben, die deutlich höhere Anteile an Euro 4 Fahrzeugen ausweisen als die Bestände.

Tabelle 10: Bestandsanteile Benzin/Diesel/Sonstige bei Pkw für das Bezugsjahr 2009 (Quelle: KBA Fz1 (2010))

Regierungsbezirk Statistische Kennziffer Zulassungsbezirk		Insgesamt	Nach Kraftstoffarten			
			Benzin	Diesel	Gas	sonstige
		1	2	3	4	6
SACHSEN						
RB CHEMNITZ						
14511	CHEMNITZ, STADT	117 974	94 107	22 644	1 065	158
14521	ERZGEBIRGSKREIS	203 546	164 898	36 894	1 651	103
14522	MITTELSACHSEN	180 974	145 292	33 503	2 066	113
14523	VOGTLANDKREIS	135 313	109 661	24 458	1 107	87
14524	ZWICKAU	182 202	148 132	32 082	1 848	140
RB ZUSAMMEN		820 009	662 090	149 581	7 737	601
RB DRESDEN						
14612	DRESDEN, STADT	202 669	159 102	41 525	1 674	368
14625	BAUTZEN	179 345	145 166	32 193	1 856	130
14626	GOERLITZ	144 730	120 895	22 538	1 189	108
14627	MEISSEN	131 172	104 951	24 911	1 209	101
14628	SAECHS.SCHWEIZ-OSTERZGEB	135 282	110 940	23 119	1 095	128
RB ZUSAMMEN		793 198	641 054	144 286	7 023	835
RB LEIPZIG						
14713	LEIPZIG, STADT	191 975	153 194	36 591	1 942	248
14729	LEIPZIG	144 882	114 516	28 348	1 934	84
14730	NORDSACHSEN	110 976	87 824	22 117	974	61
RB ZUSAMMEN		447 833	355 534	87 056	4 850	393
SACHSEN INSGESAMT		2 061 040	1 658 678	380 923	19 610	1 829
DEUTSCHLAND INSGESAMT		41 737 627	30 449 617	10 817 769	437 945	32 296

Regierungsbezirk Statistische Kennziffer Zulassungsbezirk		Insgesamt	Nach Kraftstoffarten			
			Benzin	Diesel	Gas	sonstige
		1	2	3	4	6
SACHSEN						
RB CHEMNITZ						
14511	CHEMNITZ, STADT	100.0%	79.8%	19.2%	0.9%	0.1%
14521	ERZGEBIRGSKREIS	100.0%	81.0%	18.1%	0.8%	0.1%
14522	MITTELSACHSEN	100.0%	80.3%	18.5%	1.1%	0.1%
14523	VOGTLANDKREIS	100.0%	81.0%	18.1%	0.8%	0.1%
14524	ZWICKAU	100.0%	81.3%	17.6%	1.0%	0.1%
RB ZUSAMMEN		100.0%	80.7%	18.2%	0.9%	0.1%
RB DRESDEN						
14612	DRESDEN, STADT	100.0%	78.5%	20.5%	0.8%	0.2%
14625	BAUTZEN	100.0%	80.9%	18.0%	1.0%	0.1%
14626	GOERLITZ	100.0%	83.5%	15.6%	0.8%	0.1%
14627	MEISSEN	100.0%	80.0%	19.0%	0.9%	0.1%
14628	SAECHS.SCHWEIZ-OSTERZGEB	100.0%	82.0%	17.1%	0.8%	0.1%
RB ZUSAMMEN		100.0%	80.8%	18.2%	0.9%	0.1%
RB LEIPZIG						
14713	LEIPZIG, STADT	100.0%	79.8%	19.1%	1.0%	0.1%
14729	LEIPZIG	100.0%	79.0%	19.6%	1.3%	0.1%
14730	NORDSACHSEN	100.0%	79.1%	19.9%	0.9%	0.1%
RB ZUSAMMEN		100.0%	79.4%	19.4%	1.1%	0.1%
SACHSEN INSGESAMT		100.0%	80.5%	18.5%	1.0%	0.1%
DEUTSCHLAND INSGESAMT		100.0%	73.0%	25.9%	1.0%	0.1%

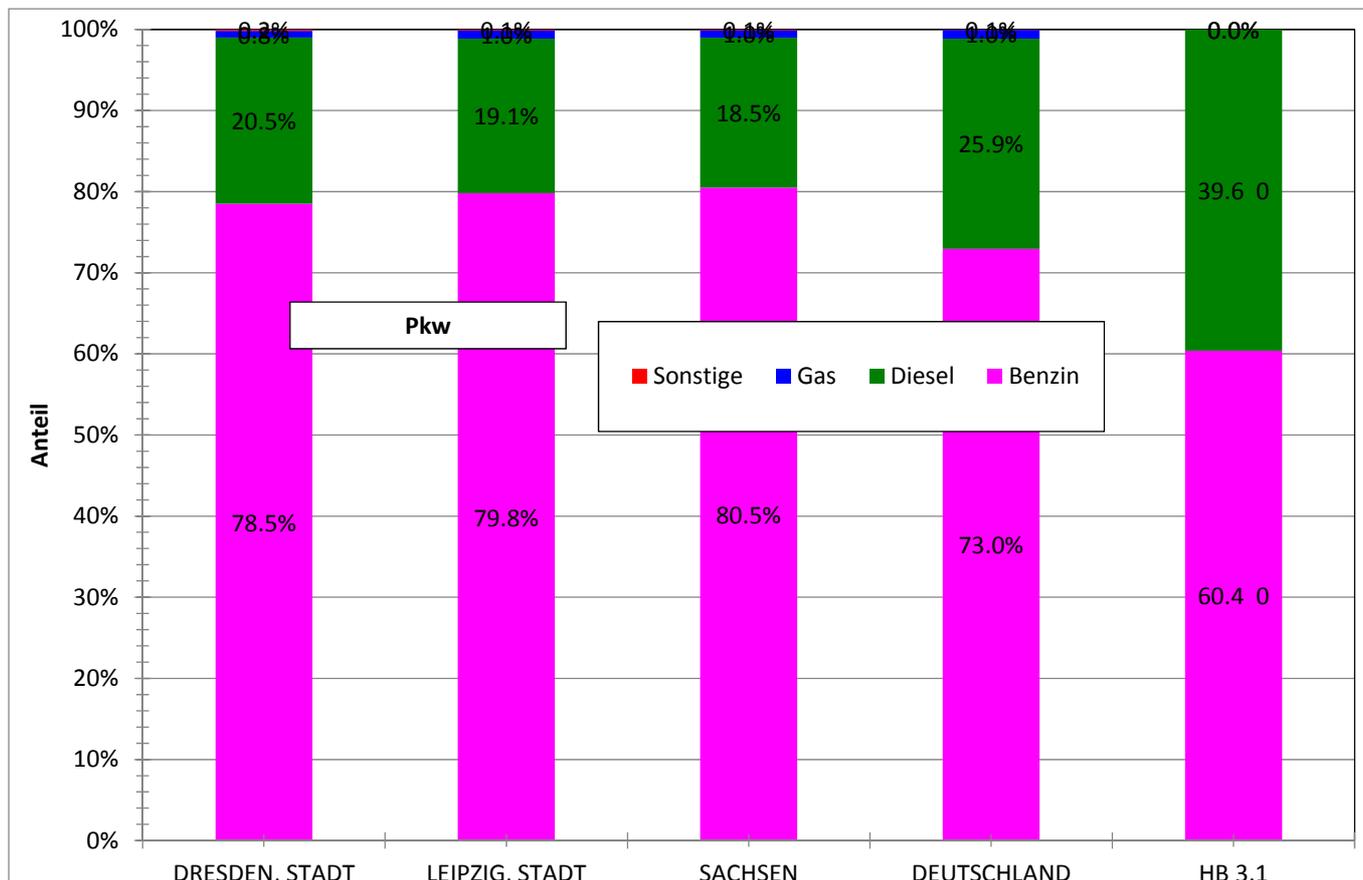


Abbildung 30: Bestandsanteile verschiedener Antriebsarten bei Pkw für das Bezugsjahr 2009 (Quelle: KBA Fz1 (2010)) Die Fahrleistungsanteile des Handbuchs für Emissionsfaktoren 3.1 sind rechts zum Vergleich mit angegeben.

In Abbildung 34 ist die Altersverteilung der Pkw für Sachsen für 2009 mit derjenigen des Bundesgebietes und entsprechenden Daten für 2005 vergleichend gegenübergestellt. Die Kurven entsprechen einem Durchschnittsalter von 8.0 Jahren für Sachsen und 8.1 Jahren für den Bundesdurchschnitt für 2009. Die Abweichungen zwischen Sachsen und dem Bundesdurchschnitt sind in 2009 im Vergleich zu 2005 geringer geworden. Es kann gefolgert werden, dass hinsichtlich der Altersverteilung mit dem Bundesdurchschnitt gerechnet werden kann.

Die deutlichen Unterschiede in den Anteilen Benzin/Diesel und den Emissionsstufen dürften sich jedoch auf die Emissionsbestimmung für NO_x/NO_2 auswirken.

In Abbildung 35 sind die NO_x -Emissionsfaktoren der verschiedenen Emissionsstufen des HBEFA 3.1 für Pkw dargestellt. Zunächst fällt auf, dass die Emissionen älterer Benzin-Pkw bis Euro 1 vergleichbar oder sogar höher sind als die entsprechender Diesel-Pkw und dass signifikante Minderungen erst mit Euro 6 zu erwarten sind. Für NO_2 ergibt sich ein etwas anderes Bild (siehe Abbildung 36).

Die dargestellten Emissionsfaktoren wurden dann zu den Stufen Euro 1 bis Euro 5 und Sonstige getrennt für Benzin- und Dieselmotoren zusammengefasst. Sonstige sind alle Stufen vor Euro 1. Mit Hilfe dieser Emissionsfaktoren wurde dann ein effektiver Emissionsfaktor für die verschiedenen Bestandsszenarien (Dresden, Leipzig, Sachsen, Deutschland) berechnet und mit dem Handbuch-Emissionsfaktor verglichen (siehe Abbildung 37 und Abbildung 38). Das Ergebnis fällt für Sachsen etwas höher aus als für den Bundesdurchschnitt, das Handbuch weist aber einen deutlich niedrigeren Emissionsfaktor auf.

Tabelle 11: Bestandsanteile an unterschiedlichen Hubraumklassen bei Pkw für das Bezugsjahr 2009 (Quelle: KBA Fz1 (2010))

Regierungsbezirk Statistische Kennziffer Zulassungsbezirk		Personenkraftwagen					
		insgesamt	mit Hubraum in cm ³				
			bis 1399	1400 bis 1699	1700 bis 1999	2000 und mehr	unbekannt ¹⁾
6	7	8	9	10	11		
SACHSEN							
	RB CHEMNITZ						
14511	CHEMNITZ, STADT	117 974	41 925	28 796	36 025	11 212	16
14521	ERZGEBIRGSKREIS	203 546	79 303	48 656	59 225	16 336	26
14522	MITTELSACHSEN	180 974	67 723	43 961	53 512	15 757	21
14523	VOGTLANDKREIS	135 313	51 274	32 620	39 593	11 793	33
14524	ZWICKAU	182 202	71 278	44 018	52 114	14 743	49
	RB ZUSAMMEN	820 009	311 503	198 051	240 469	69 841	145
	RB DRESDEN						
14612	DRESDEN, STADT	202 669	65 942	50 499	63 816	22 386	26
14625	BAUTZEN	179 345	65 149	44 351	54 850	14 968	27
14626	GOERLITZ	144 730	52 473	36 424	43 638	12 179	16
14627	MEISSEN	131 172	46 523	32 340	40 021	12 265	23
14628	SAECHS.SCHWEIZ-OSTERZGEB	135 282	49 631	33 688	39 888	12 058	17
	RB ZUSAMMEN	793 198	279 718	197 302	242 213	73 856	109
	RB LEIPZIG						
14713	LEIPZIG, STADT	191 975	65 519	47 650	57 446	21 327	33
14729	LEIPZIG	144 882	52 259	35 768	43 508	13 323	24
14730	NORDSACHSEN	110 976	40 508	27 660	32 818	9 967	23
	RB ZUSAMMEN	447 833	158 286	111 078	133 772	44 617	80
	LAND INSGESAMT	2 061 040	749 507	506 431	616 454	188 314	334
	DEUTSCHLAND INSGESAMT	41 737 627	13 009 323	8 570 099	13 607 560	6 541 855	8 790

Regierungsbezirk Statistische Kennziffer Zulassungsbezirk		Personenkraftwagen					
		insgesamt	mit Hubraum in cm ³				
			bis 1399	1400 bis 1699	1700 bis 1999	2000 und mehr	unbekannt ¹⁾
6	7	8	9	10	11		
SACHSEN							
	RB CHEMNITZ						
14511	CHEMNITZ, STADT	100.0%	35.5%	24.4%	30.5%	9.5%	0.0%
14521	ERZGEBIRGSKREIS	100.0%	39.0%	23.9%	29.1%	8.0%	0.0%
14522	MITTELSACHSEN	100.0%	37.4%	24.3%	29.6%	8.7%	0.0%
14523	VOGTLANDKREIS	100.0%	37.9%	24.1%	29.3%	8.7%	0.0%
14524	ZWICKAU	100.0%	39.1%	24.2%	28.6%	8.1%	0.0%
	RB ZUSAMMEN	100.0%	38.0%	24.2%	29.3%	8.5%	0.0%
	RB DRESDEN						
14612	DRESDEN, STADT	100.0%	32.5%	24.9%	31.5%	11.0%	0.0%
14625	BAUTZEN	100.0%	36.3%	24.7%	30.6%	8.3%	0.0%
14626	GOERLITZ	100.0%	36.3%	25.2%	30.2%	8.4%	0.0%
14627	MEISSEN	100.0%	35.5%	24.7%	30.5%	9.4%	0.0%
14628	SAECHS.SCHWEIZ-OSTERZGEB	100.0%	36.7%	24.9%	29.5%	8.9%	0.0%
	RB ZUSAMMEN	100.0%	35.3%	24.9%	30.5%	9.3%	0.0%
	RB LEIPZIG						
14713	LEIPZIG, STADT	100.0%	34.1%	24.8%	29.9%	11.1%	0.0%
14729	LEIPZIG	100.0%	36.1%	24.7%	30.0%	9.2%	0.0%
14730	NORDSACHSEN	100.0%	36.5%	24.9%	29.6%	9.0%	0.0%
	RB ZUSAMMEN	100.0%	35.3%	24.8%	29.9%	10.0%	0.0%
	SACHSEN INSGESAMT	100.0%	36.4%	24.6%	29.9%	9.1%	0.0%
	DEUTSCHLAND INSGESAMT	100.0%	31.2%	20.5%	32.6%	15.7%	0.0%

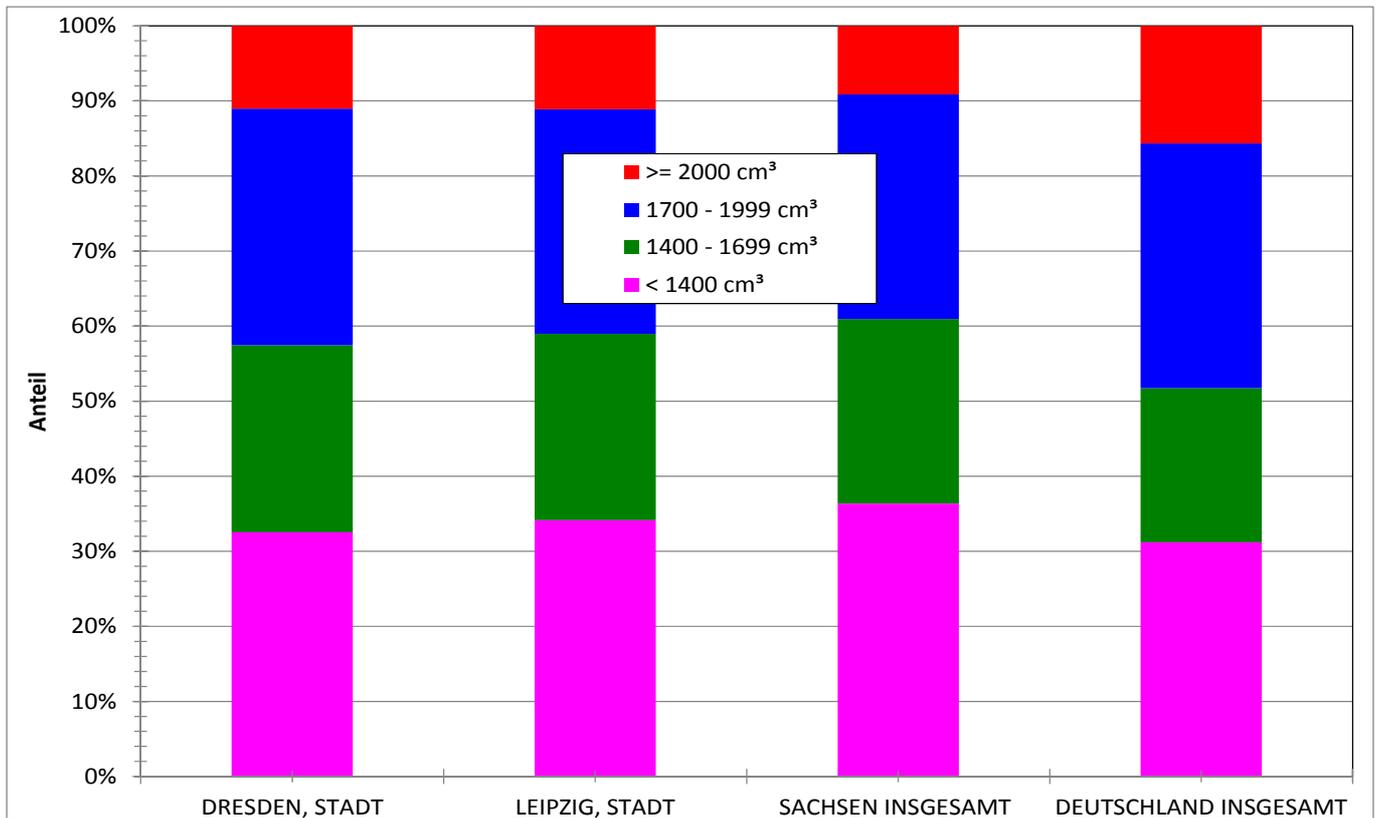


Abbildung 31: Bestandsanteile an unterschiedlichen Hubraumklassen bei Pkw für das Bezugsjahr 2009 (Quelle: KBA Fz1 (2010))

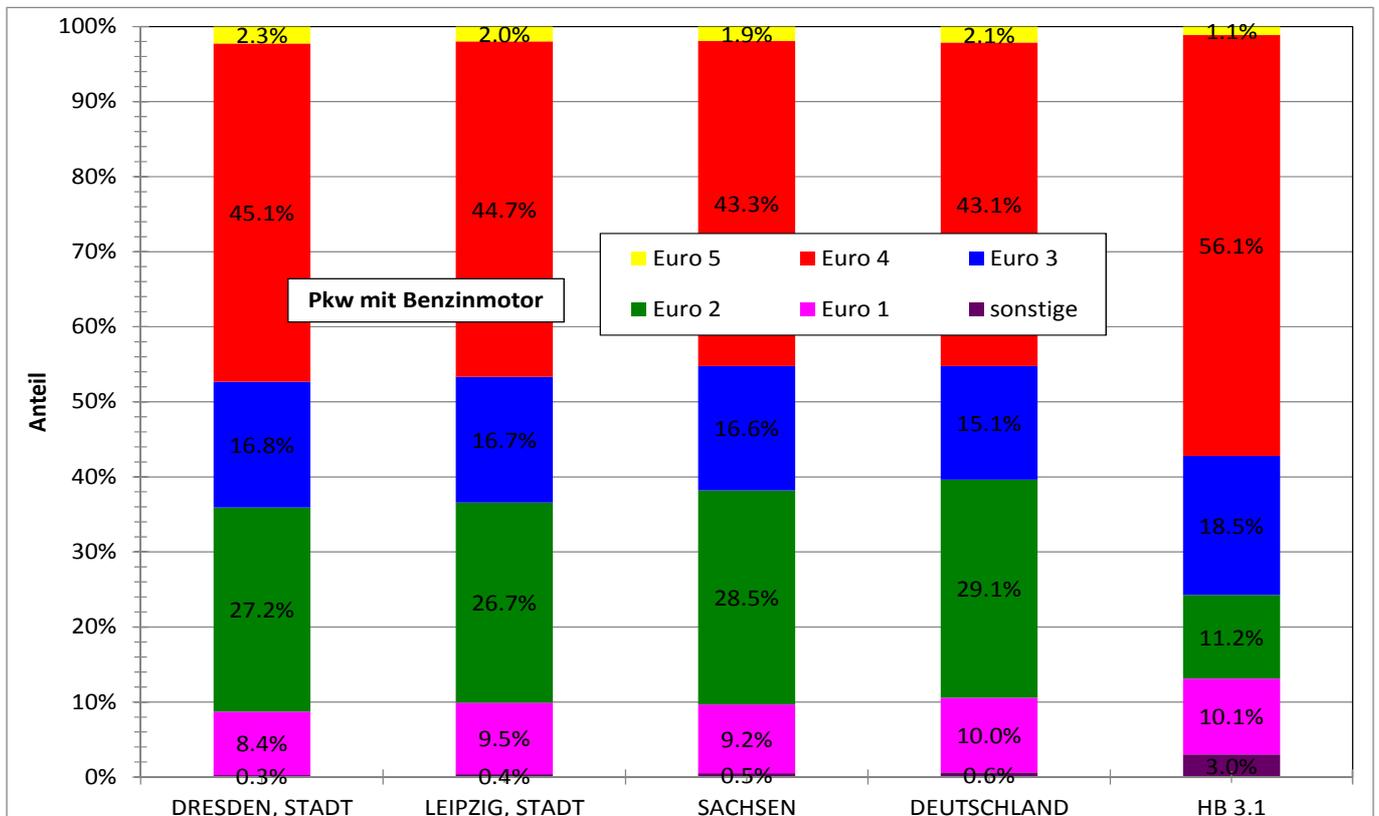


Abbildung 32: Bestandsanteile verschiedener Emissionsstufen für Pkw mit Benzinmotor für das Bezugsjahr 2009 (Quelle: KBA Fz1 (2010)). Die Fahrleistungsanteile des Handbuchs für Emissionsfaktoren 3.1 sind rechts zum Vergleich mit angegeben.

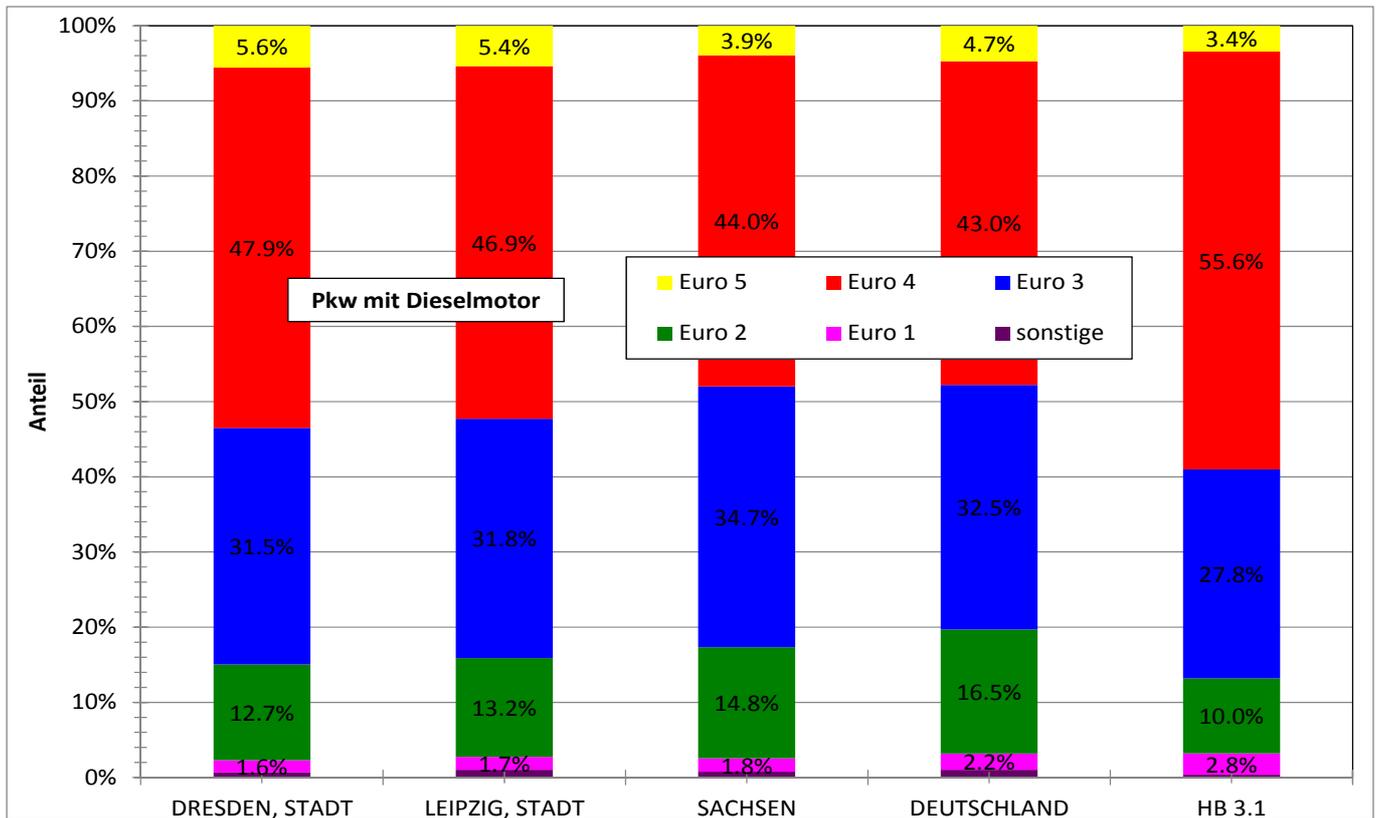


Abbildung 33: Bestandsanteile verschiedener Emissionsstufen für Pkw mit Dieselmotor für das Bezugsjahr 2009 (Quelle: KBA Fz1 (2010)). Die Fahrleistungsanteile des Handbuchs für Emissionsfaktoren 3.1 sind rechts zum Vergleich mit angegeben.

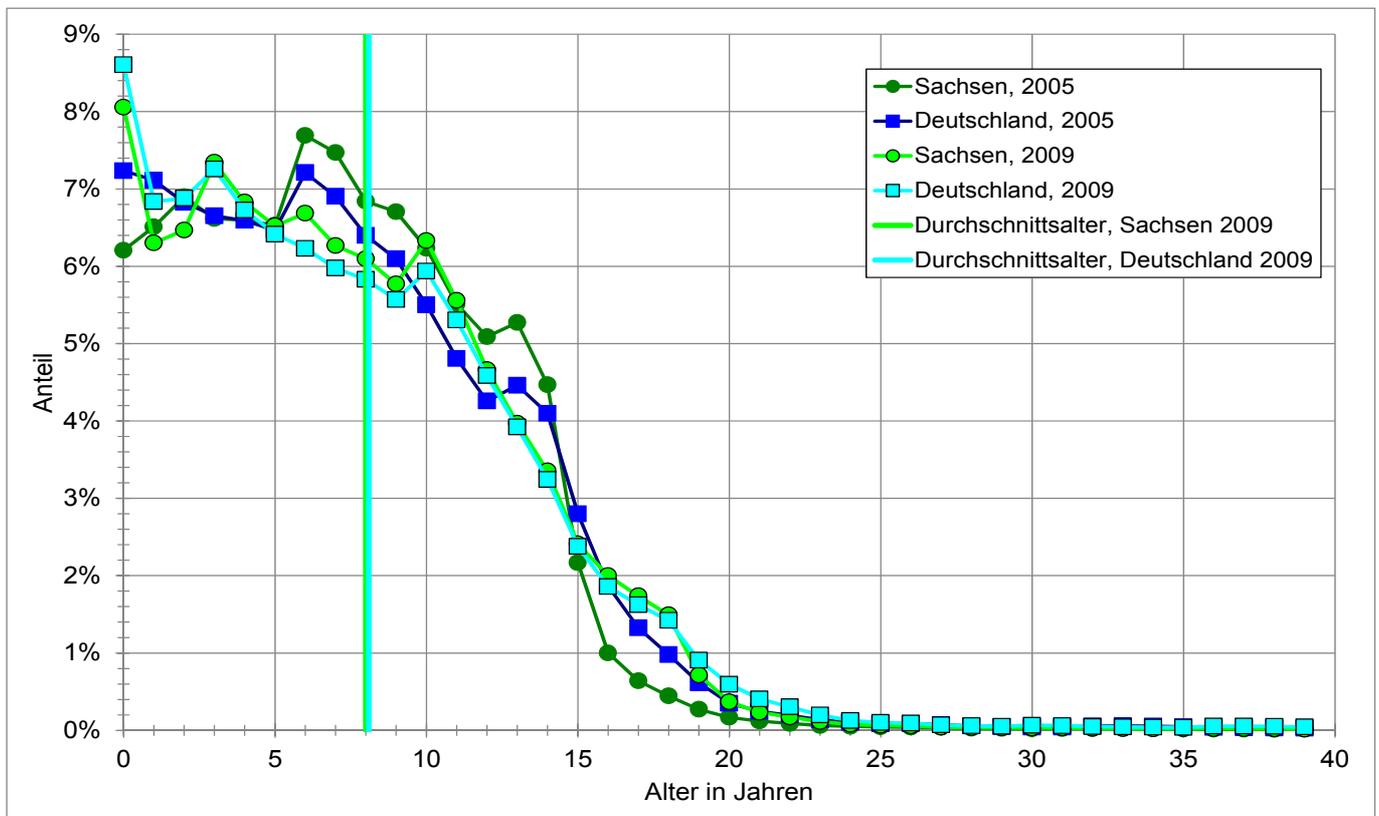


Abbildung 34: Altersverteilungen von Pkw und LNfz zur Bestimmung der Fahrleistungsanteile für die verschiedenen Eurostufen (abgeleitet aus KBA Fz15 (2010))

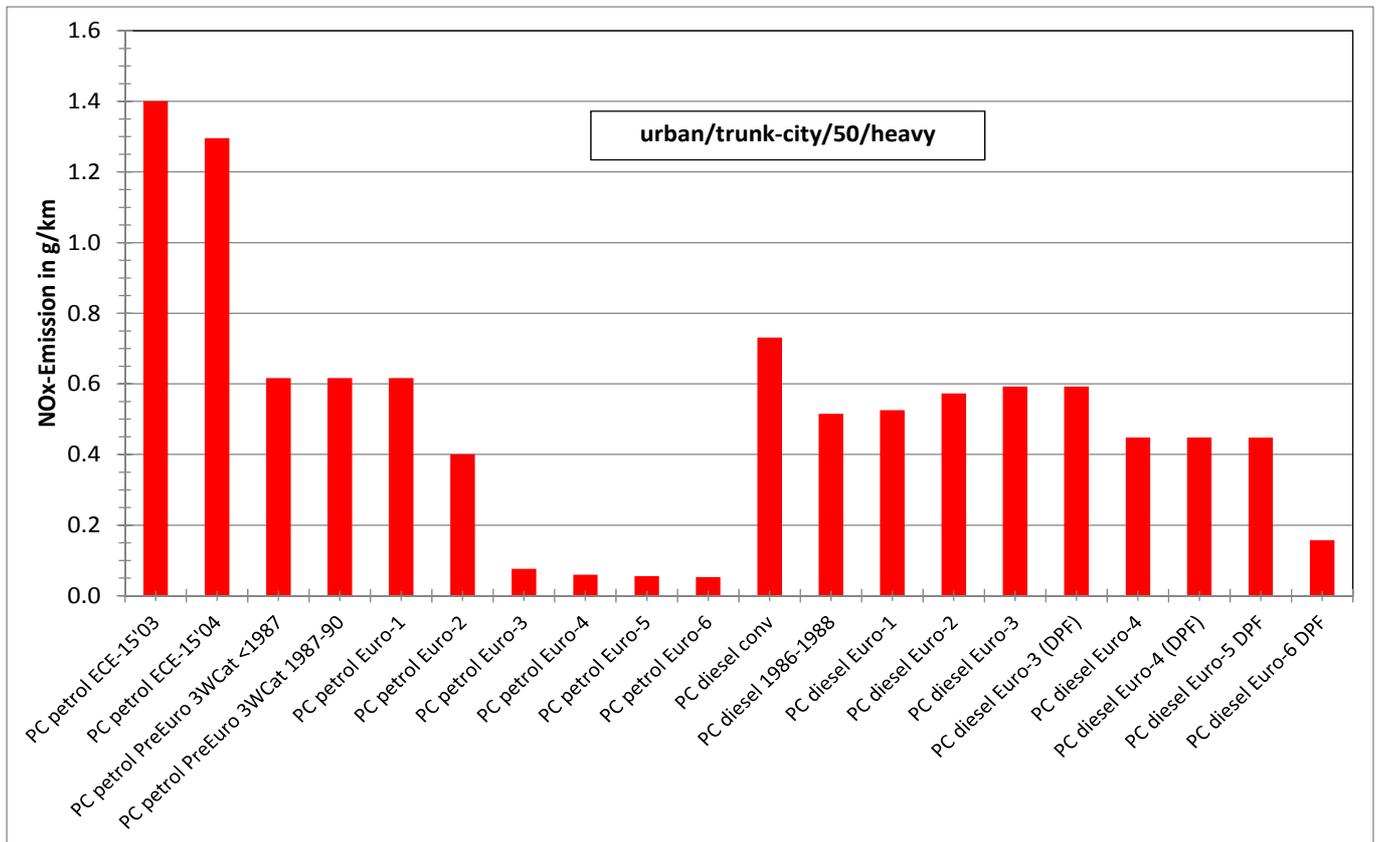


Abbildung 35: NO_x-Emissionsfaktoren der verschiedenen Emissionsstufen des Handbuchs 3.1 für Pkw

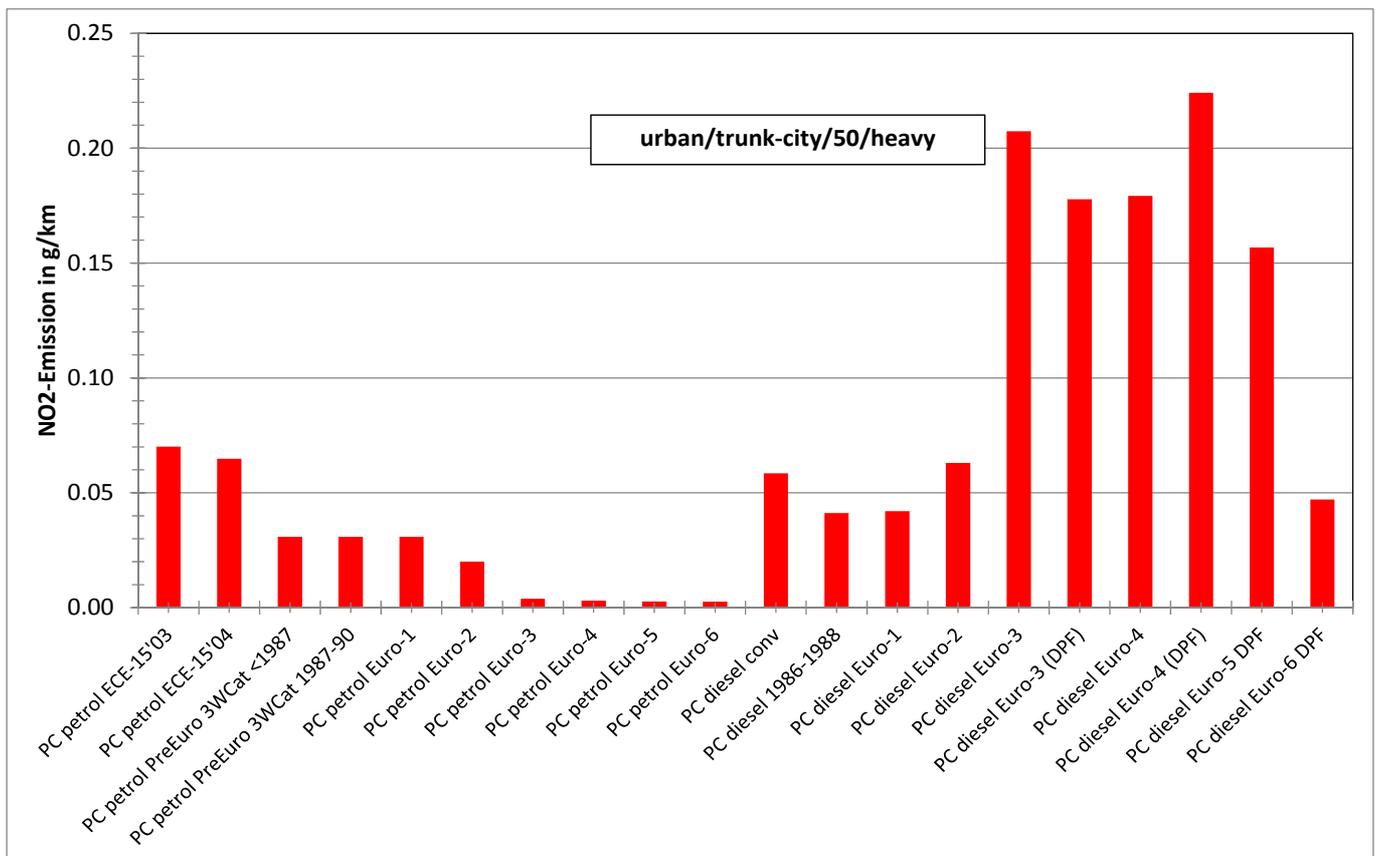


Abbildung 36: NO₂-Emissionsfaktoren der verschiedenen Emissionsstufen des Handbuchs 3.1 für Pkw

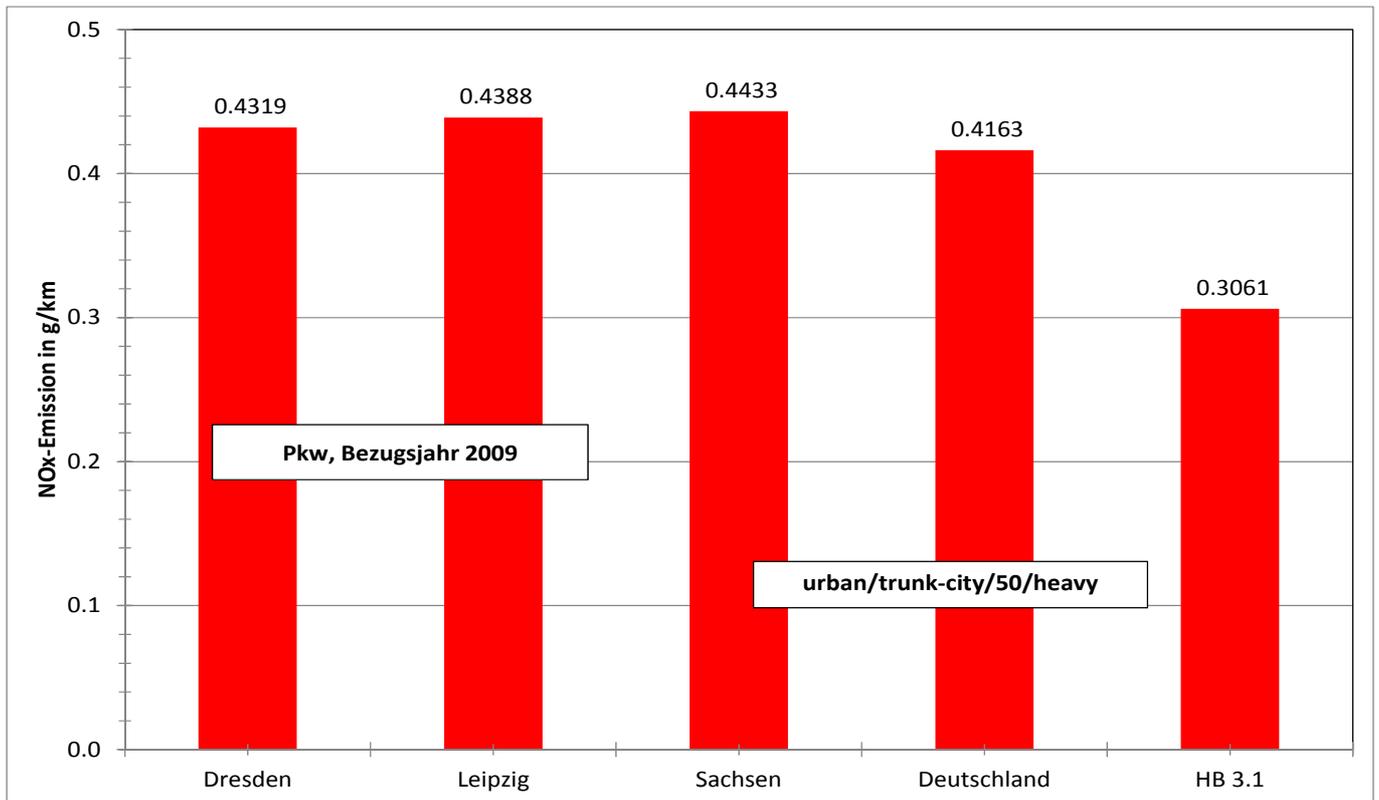


Abbildung 37: Effektiver NO_x-Emissionsfaktor für unterschiedliche Wichtungen für Benzin/Diesel und Emissionsstufen bei Pkw. Die Wichtungen für Dresden, Leipzig, Sachsen und Deutschland beruhen auf Bestandsanteilen, die Wichtungen für HBEFA 3.1 auf Fahrleistungsanteilen.

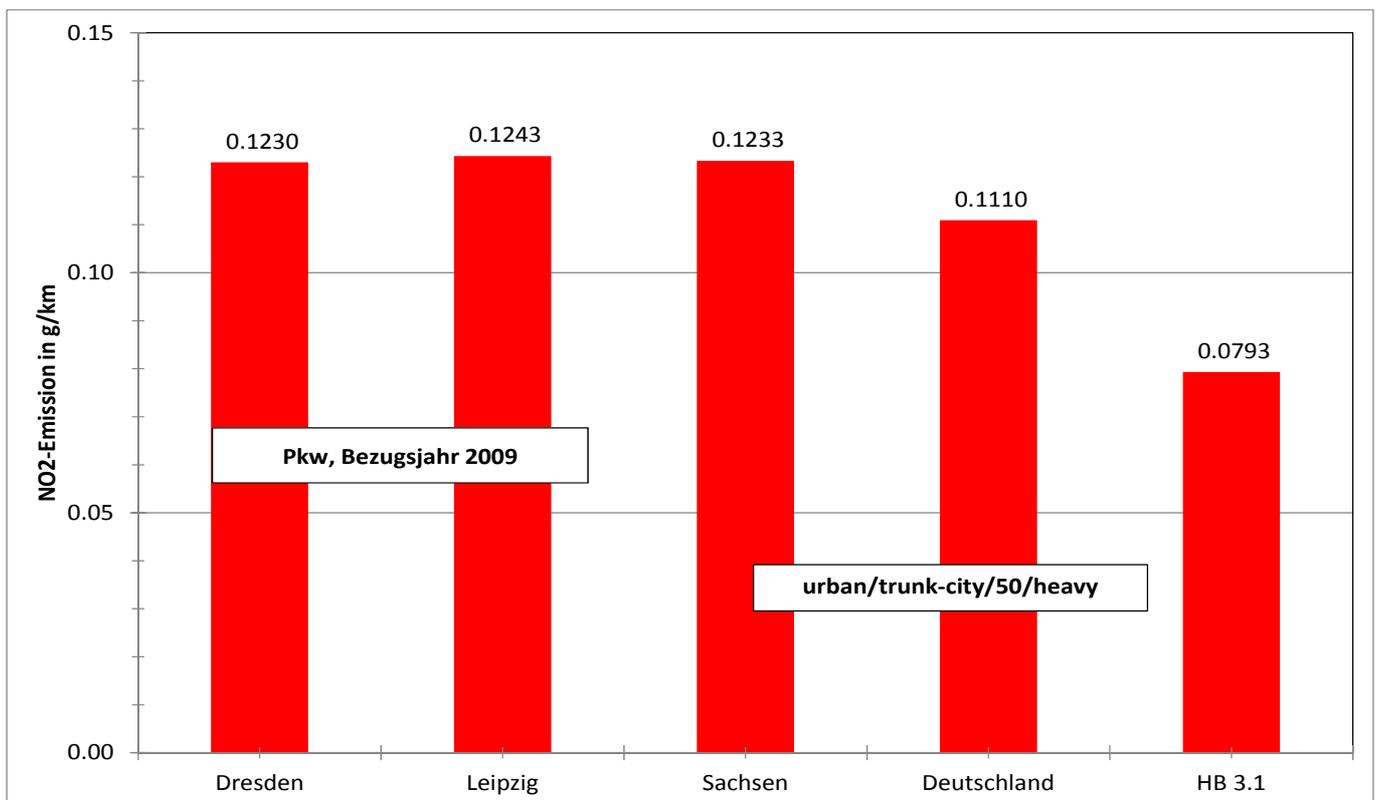


Abbildung 38: Effektiver NO₂-Emissionsfaktor für unterschiedliche Wichtungen für Benzin/Diesel und Emissionsstufen bei Pkw. Die Wichtungen für Dresden, Leipzig, Sachsen und Deutschland beruhen auf Bestandsanteilen, die Wichtungen für HBEFA 3.1 auf Fahrleistungsanteilen.

4.2.2 Leichte Nutzfahrzeuge

Leichte Nutzfahrzeuge (LNfz) sind Nutzfahrzeuge mit einer zul. Gesamtmasse bis 3.500 kg. Die KBA-Statistik unterscheidet LNfz bis 2.800 kg und über 2.800 kg Gesamtmasse. Die erstgenannte Untergruppe enthält auch Pkw-ähnliche leichte Nutzfahrzeuge wie VW Caddy u. ä.

Leichte Nutzfahrzeuge werden beim KBA nicht als separate Fahrzeugkategorie geführt. Ihre Bestandszahlen können allerdings aus Teilen der Lkw-Statistiken bestimmt werden. Das KBA hat für Lkw eine Bestandsstatistik, die nach zulässiger Gesamtmasse unterteilt ist. Die beiden unteren Klassen (bis 2.800 kg und 2.801 kg bis 3.500 kg) bilden definitionsgemäß die Kategorie der LNfz. Diese Statistik liegt auch aufgeschlüsselt nach Ländern, Regierungsbezirken und größeren Städten vor (Abbildung 39). Danach haben die Städte Dresden und Leipzig wie auch das Land Sachsen einen signifikant höheren Anteil an LNfz als der Bundesdurchschnitt.

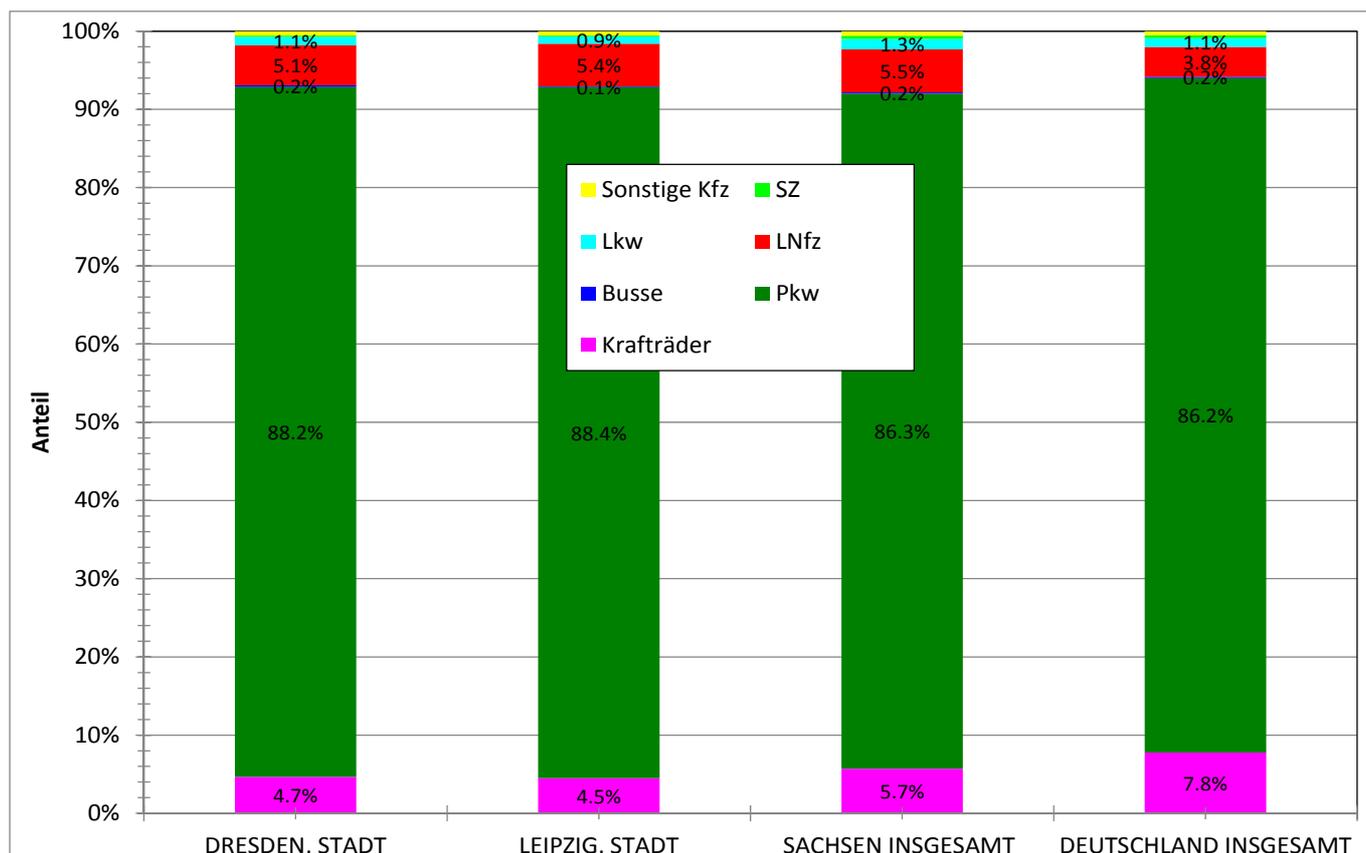


Abbildung 39: Bestandsanteile verschiedener Fahrzeugkategorien für 2009 für die Städte Dresden und Leipzig, das Land Sachsen und Deutschland gesamt (Quelle: KBA Fz1 (2010))

Auch die Anteile der beiden Größenklassen innerhalb der LNfz sind unterschiedlich (Abbildung 40). Die beiden sächsischen Städte wie auch das Land haben höhere Anteile kleinerer Fahrzeuge als der Bundesdurchschnitt.

Über die Zusammensetzung nach Emissionsstufen liegen Statistiken für Sachsen für das Jahr 2008 vor, sogar separat für die beiden Gesamtmassenklassen. Diese wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt und sind für Dresden und Leipzig in Abbildung 41 dem Bundesdurchschnitt für 2009 gegenübergestellt. Man erkennt in allen Fällen, dass die Zusammensetzung für die beiden Gesamtmassenklassen signifikant unterschiedlich ist. Die Klasse bis 2.800 kg Gesamtmasse hat deutlich mehr ältere Fahrzeuge als die Klasse über 2.800 kg. Leipzig liegt nahe am Bundesdurchschnitt, Dresden hat in beiden Klassen höhere Anteile älterer Fahrzeuge.

Für die Zielsetzung des Vorhabens wäre allerdings eine weitere Aufteilung nach Benzin- und Dieselmotoren notwendig. Diese liegt für die Gesamtmassenklassen nicht vor, wohl jedoch für Nutzlastklassen (siehe Tabelle 12). Die beiden Nutzlastklassen bis 999 kg und 1.000 kg bis 1.999 kg stimmen in etwa mit den beiden Gesamtmassenklassen überein. Daraus lässt sich folgern, dass die Antriebsartsanteile für die höhere Klasse in Sachsen gut mit dem Bundesdurchschnitt übereinstimmt, die niedrigere Klasse enthält jedoch in Sachsen mehr Benzin-Fahrzeuge als der Bundesdurchschnitt.

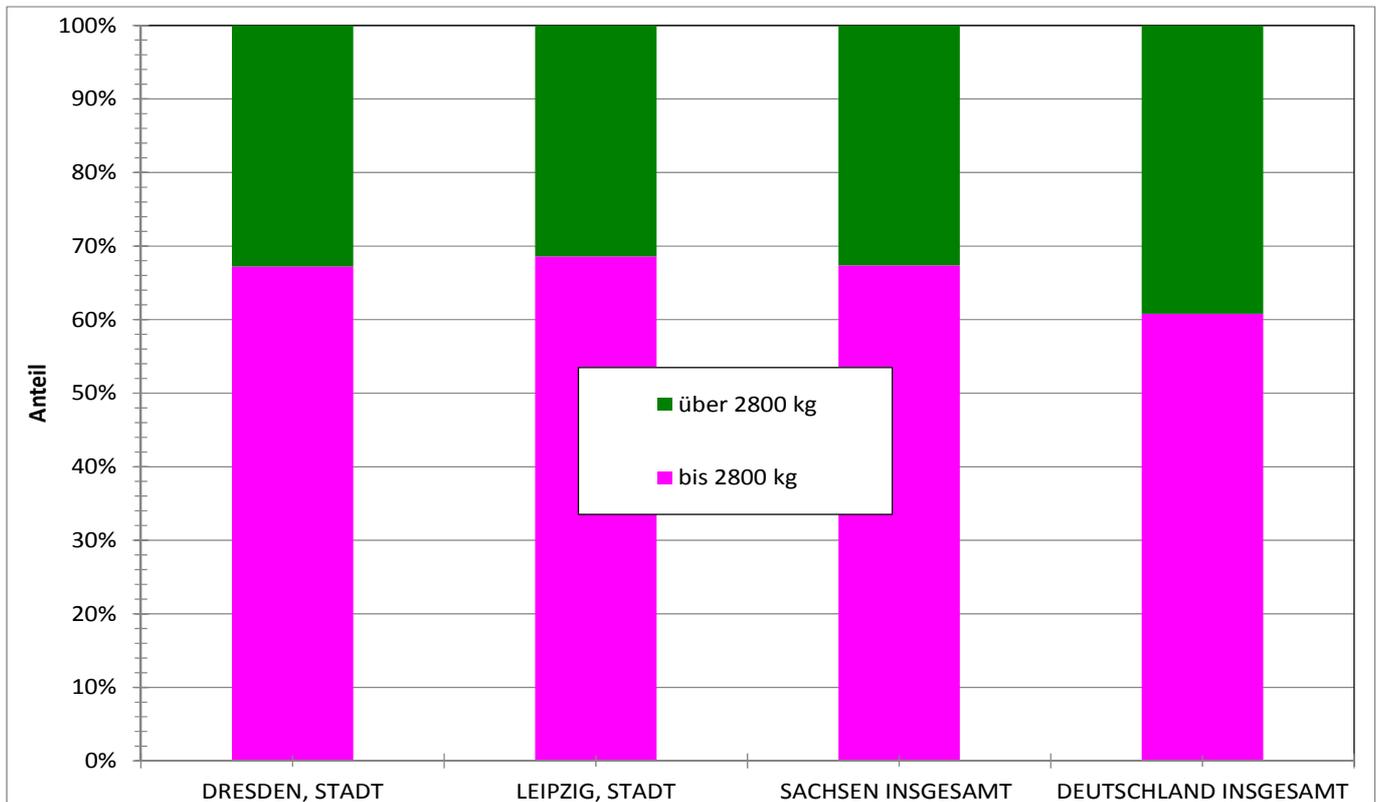


Abbildung 40: Bestandsanteile der beiden Gesamtmassklassen innerhalb der Kategorie „leichte Nutzfahrzeuge“ für 2009 für die Städte Dresden und Leipzig, das Land Sachsen und Deutschland gesamt (Quelle: KBA Fz1 (2010))

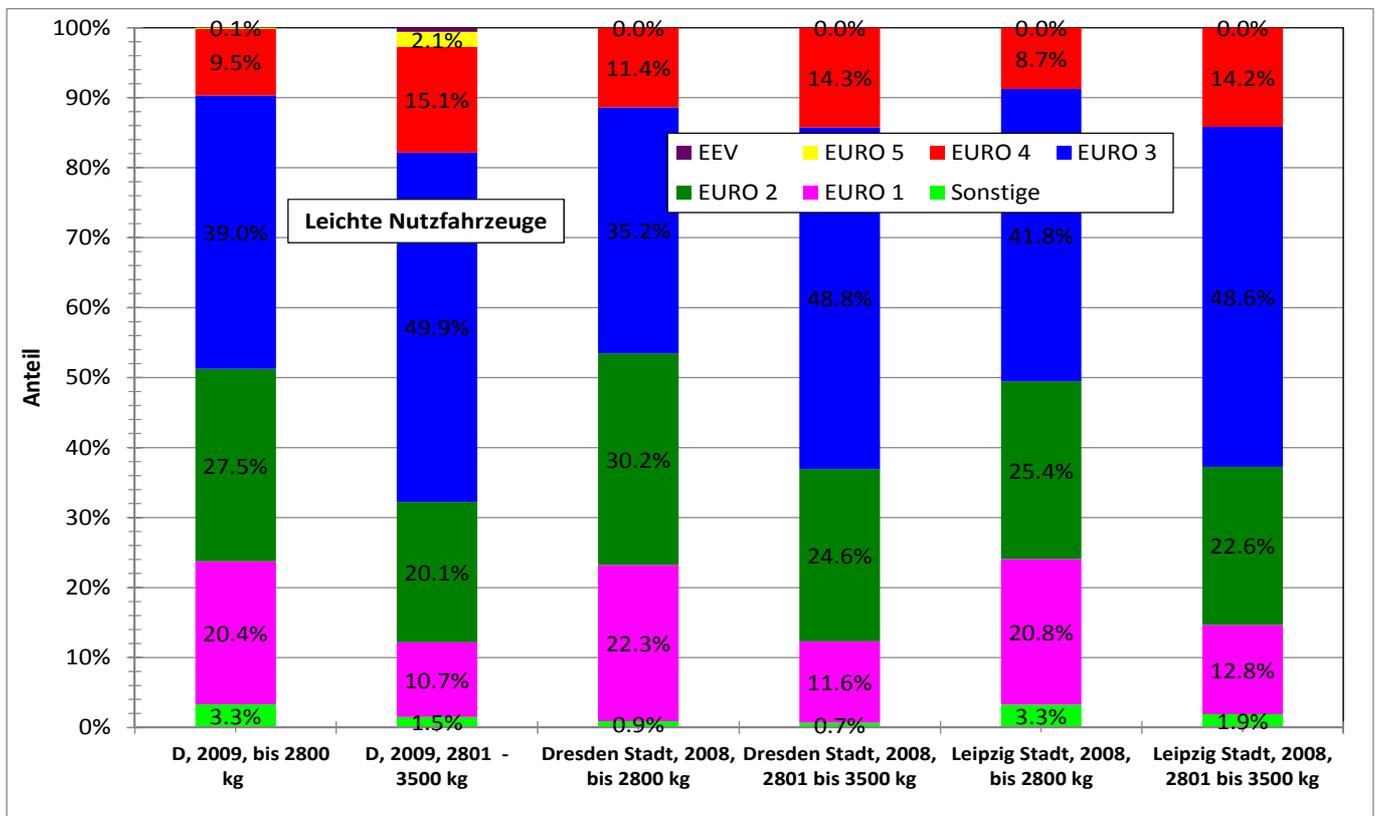


Abbildung 41: Zusammensetzung der LNfz-Klassen (Bestände) nach Emissionsstufen für 2009 (Quelle für D: KBA Fz13 (2010))

Tabelle 12: Bestandsanteile verschiedener Antriebsarten für LNfz in 2009 (Quelle: KBA Fz13 (2010))

Antriebsart	Sachsen			Deutschland		
	Nutzlast in kg		gesamt	Nutzlast in kg		gesamt
	bis 999	1000 bis 1999		bis 999	1000 bis 1999	
Benzin	14.6%	1.9%	10.0%	11.3%	1.8%	7.3%
Diesel	84.2%	97.7%	89.1%	87.1%	97.6%	91.6%
Flüssiggas (einschl. bivalent)	0.4%	0.1%	0.3%	0.5%	0.1%	0.3%
Erdgas (einschl. bivalent)	0.8%	0.2%	0.6%	1.1%	0.4%	0.8%
Elektro	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Hybrid	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
sonstige	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
Gesamtanzahl LNfz	84,973	48,948	133,921	1,084,765	801,496	1,886,261
	bis 2800 kg	bis 3500 kg	gesamt	bis 2800 kg	bis 3500 kg	gesamt
LNfz aus Gesamtmassestatistik	88,731	42,978	131,709	1,124,148	724,950	1,849,098

Im Vergleich zum Handbuch ergeben sich jedoch erhebliche Unterschiede in den Anteilen zwischen den beiden Klassen. Das Handbuch unterscheidet entsprechend der Grenzwertsetzung für NO_x bei der Typprüfung die folgenden LNfz-Klassen:

- N1-I, Bezugsmasse für die Abgasmessung ≤ 1.305 kg, Euro 5 Grenzwerte 60/180 mg/km,
- N1-II, Bezugsmasse zwischen 1.306 kg und 1.760 kg, Euro 5 Grenzwerte 75/235 mg/km,
- N1-III, Bezugsmasse über 1.760 kg, Euro 5 Grenzwerte 82/280 mg/km

Der linke Grenzwert bezieht sich auf Benziner, der rechte auf Diesel. Die Bezugsmasse entspricht der Leermasse plus Fahrer und Messequipment. Fahrzeuge mit Gesamtmassen über 2.800 kg gehören zur Klasse N1-III, die Klasse N1-I wird von Pkw-ähnlichen LNfz gebildet, die Klasse N1-II enthält sowohl Pkw-ähnliche Fahrzeuge als auch „echte“ LNfz.

Abbildung 42 und Abbildung 43 zeigen die Emissionsfaktoren für NO_x für die verschiedenen Fahrzeugschichten aus dem HBEFA 3.1. Interessanterweise sind die Faktoren bei alten Benzin-Fahrzeugen sogar höher als bei den Diesel-Fahrzeugen. Generell steigen die Emissionen aber von N1-I bis N1-III bei allen Schichten an. Die entsprechenden Angaben zu den NO₂-Emissionen sind in Abbildung 44 und Abbildung 45 dargestellt.

Tabelle 13 zeigt einen Vergleich der Anteile im Handbuch für Emissionsfaktoren und in der KBA-Statistik. Das Handbuch wichtet die Klasse mit der höchsten Bezugsmasse deutlich stärker als die KBA-Statistik. Die großen Unterschiede sind in diesem Umfang nicht dadurch zu erklären, dass die Wichtungen im Handbuch auf Fahrleistungen beruhen und nicht auf Bestandszahlen.

Diese Unterschiede wirken sich auch auf die Bestimmung der NO_x-Emissionen aus. Bestimmt man den effektiven Emissionsfaktor für NO_x mit den unterschiedlichen Wichtungen für Benzin/Diesel (nach Tabelle 12) und Emissionsschichten (nach Abbildung 41), so erhält man das in Abbildung 46 gezeigte Ergebnis. Die Unterschiede zwischen den beiden sächsischen Städten und dem gesamten Bundesgebiet sind für NO_x nicht signifikant, die Gewichtungen des Handbuchs führen aber zu einem rund 15 % höheren Emissionsfaktor. Bei NO₂ fallen die Unterschiede deutlicher aus (siehe Abbildung 47).

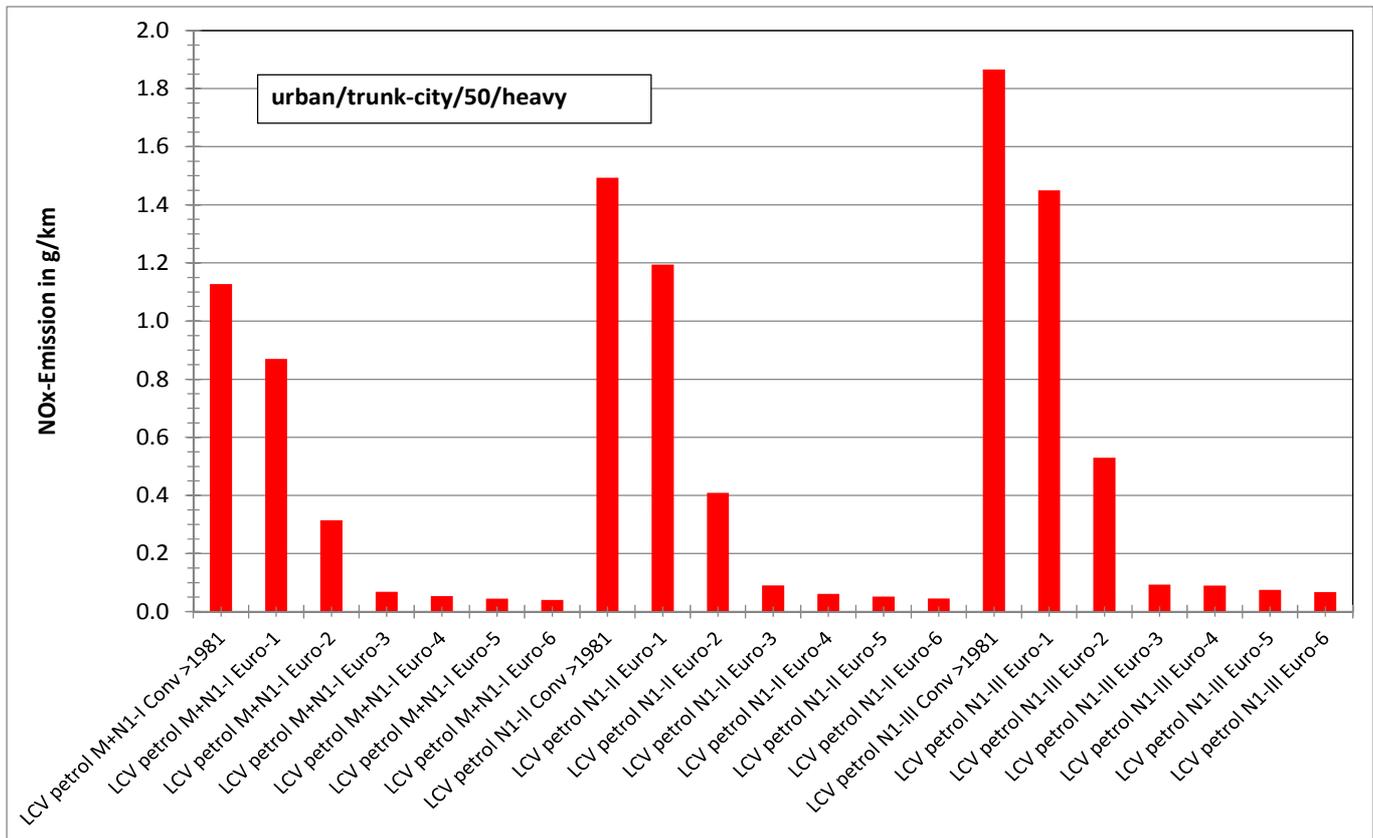


Abbildung 42: NO_x-Emissionsfaktoren verschiedener Emissionsstufen von LNfz mit Benzinmotor aus dem HBEFA 3.1 für eine innerstädtische Hauptverkehrsstraße

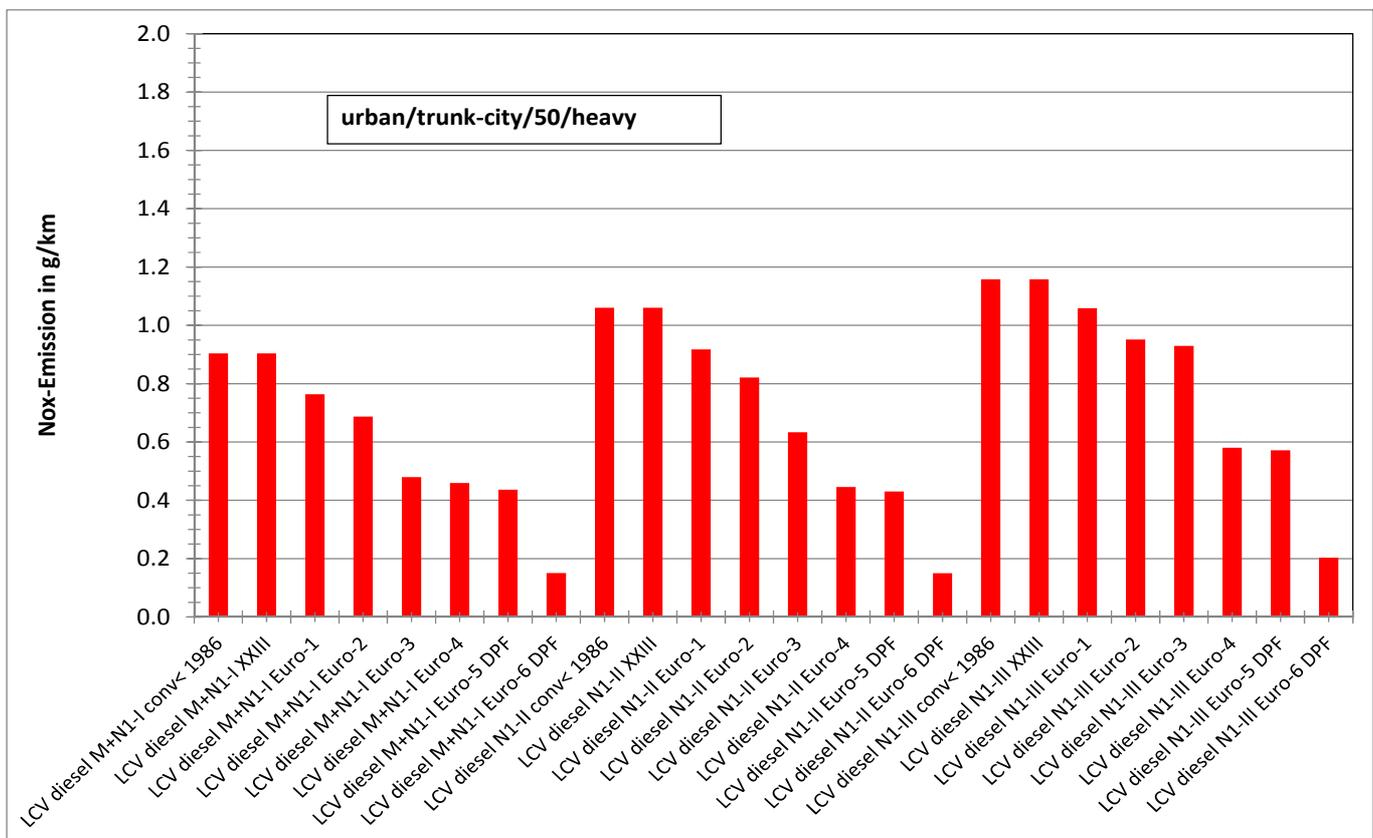


Abbildung 43: NO_x-Emissionsfaktoren verschiedener Emissionsstufen von LNfz mit Dieselmotor aus dem HBEFA 3.1 für eine innerstädtische Hauptverkehrsstraße

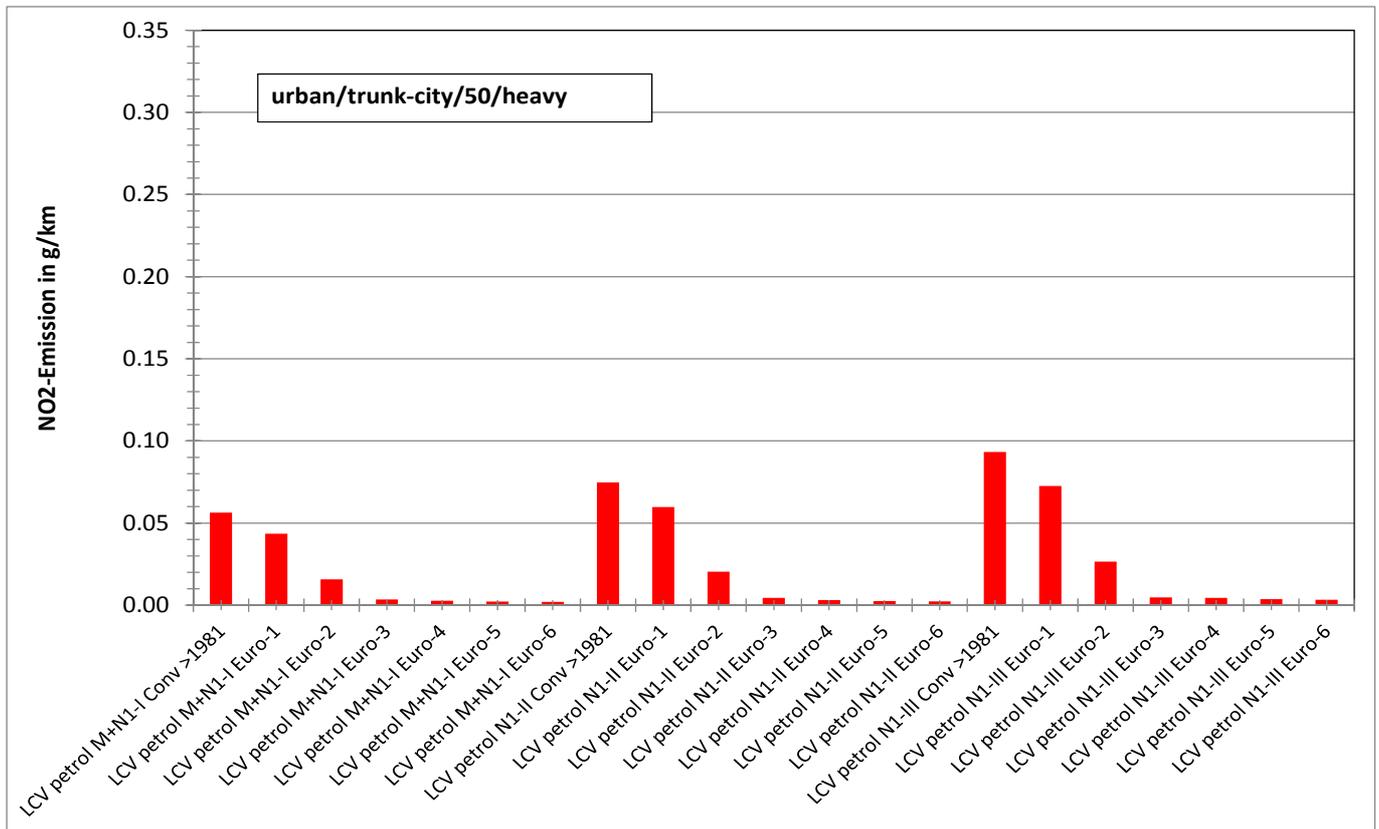


Abbildung 44: NO₂-Emissionsfaktoren verschiedener Emissionsstufen von LNfz mit Benzinmotor aus dem HBEFA 3.1 für eine innerstädtische Hauptverkehrsstraße

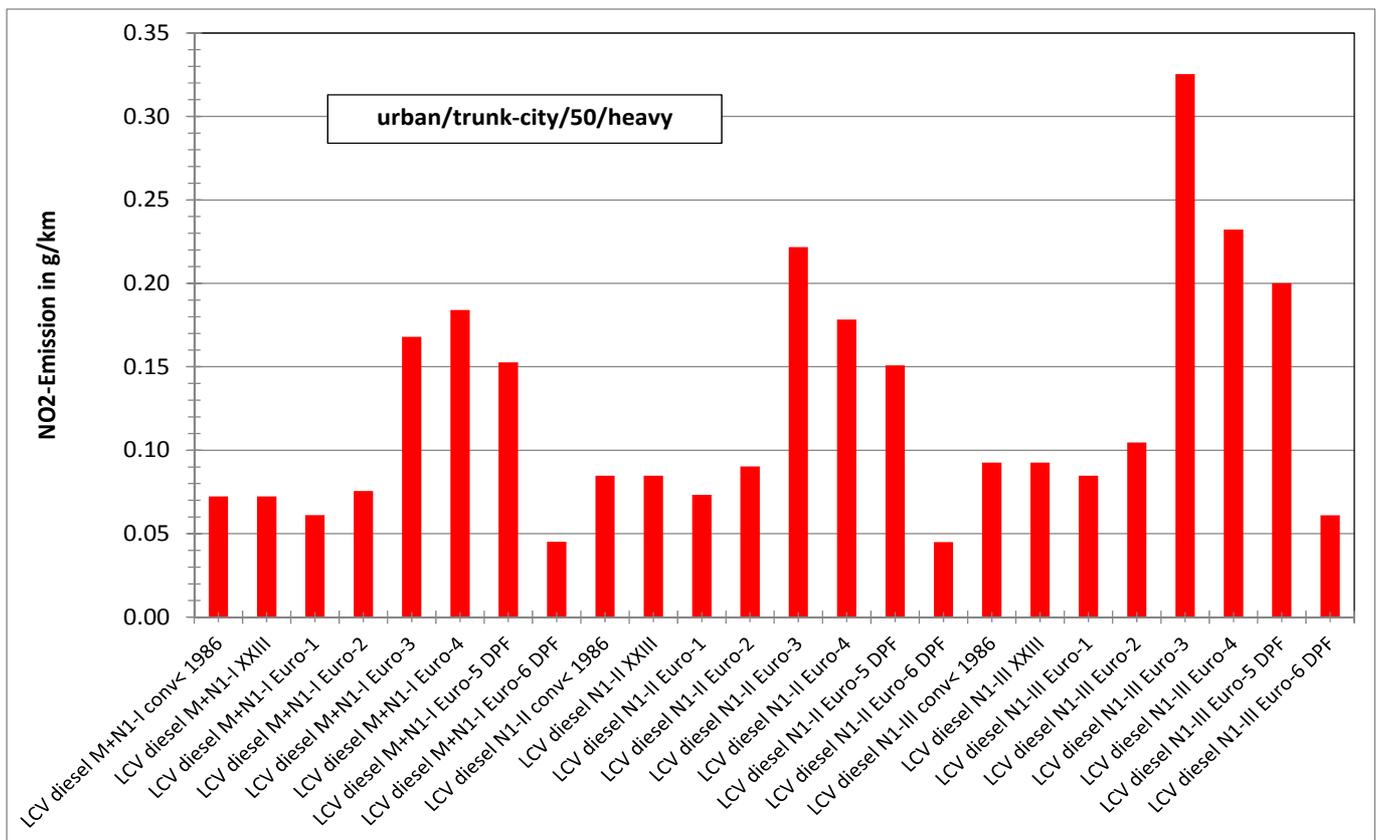


Abbildung 45: NO₂-Emissionsfaktoren verschiedener Emissionsstufen von LNfz mit Dieselmotor aus dem HBEFA 3.1 für eine innerstädtische Hauptverkehrsstraße

Tabelle 13: Anteile verschiedener Klassen von LNfz im Handbuch für Emissionsfaktoren (HBEFA 3.1, Fahrleistungen) und in der KBA-Statistik (Bestand)

LNfz-Kat.	HB 3.1 2009			KBA 2009
	Benzin	Diesel	LNfz gesamt	
N1-I	3.6%	6.9%	10.5%	60.8%
N1-II	1.9%	18.0%	19.8%	
N1-III	1.1%	68.6%	69.6%	39.2%

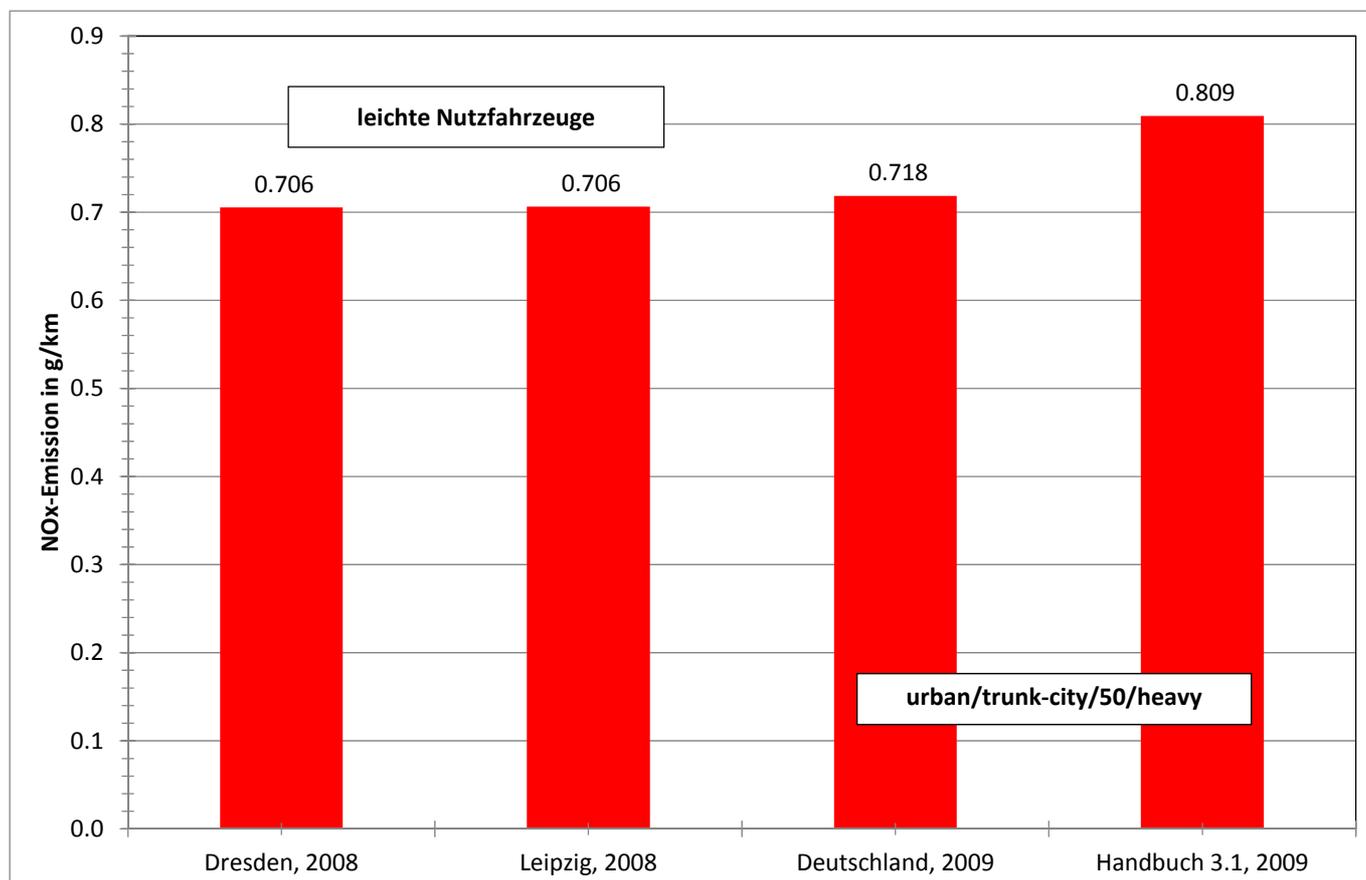


Abbildung 46: Effektiver NO_x-Emissionsfaktor für unterschiedliche Wichtungen für Benzin/Diesel und Emissionsstufen bei leichten Nutzfahrzeugen. Die Wichtungen für Dresden, Leipzig und Deutschland beruhen auf Bestandsanteilen, die Wichtungen für HBEFA 3.1 auf Fahrleistungsanteilen.

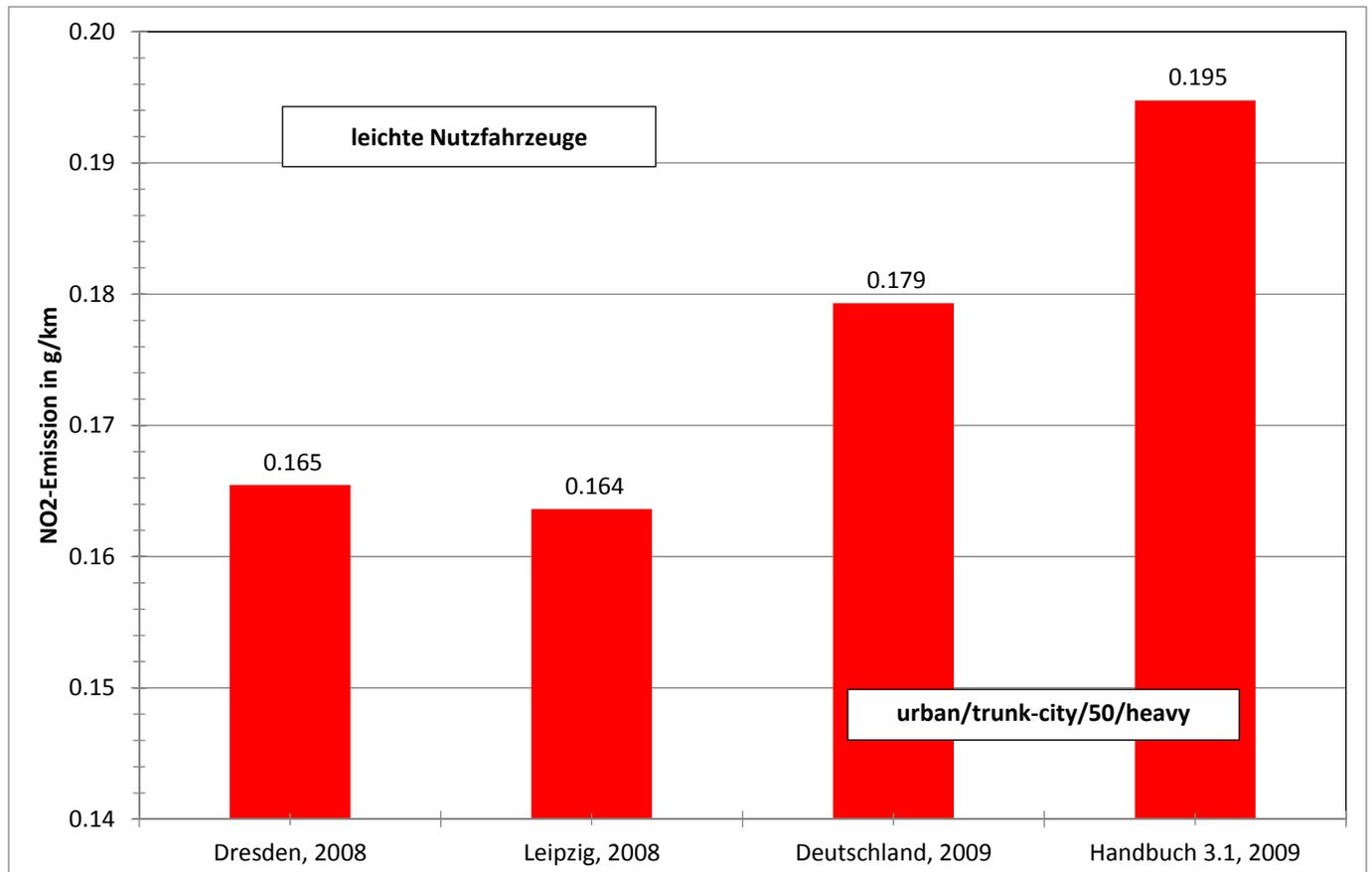


Abbildung 47: Effektiver NO₂-Emissionsfaktor für unterschiedliche Wichtungen für Benzin/Diesel und Emissionsstufen bei leichten Nutzfahrzeugen. Die Wichtungen für Dresden, Leipzig und Deutschland beruhen auf Bestandsanteilen, die Wichtungen für HBEFA 3.1 auf Fahrleistungsanteilen.

4.2.3 Schwere Nutzfahrzeuge

Schwere Nutzfahrzeuge sind Lkw und Sattelzüge mit Gesamtmassen über 3.500 kg. Die Bandbreite reicht vom kleinen Verteilerfahrzeug mit einer Gesamtmasse von 4.000 kg bis zum schweren Last- oder Sattelzug mit einer Gesamtmasse von 40.000 kg. Die Nennleistungen variieren von ca. 80 kW bis über 500 kW.

Hinsichtlich der Zusammensetzung des Bestandes nach Gesamtmassenklassen gibt es deutliche Unterschiede zwischen dem Land Sachsen und dem Bundesdurchschnitt, aber auch zwischen den Städten Dresden und Leipzig und dem Landesdurchschnitt (siehe Abbildung 48). Insbesondere der Anteil sehr kleiner Fahrzeuge (bis 5.000 kg) ist in Sachsen deutlich höher als im Bundesdurchschnitt.

Dies ist nicht der Fall für die Anteile an Lkw und Sattelzügen, jedoch gibt es hier große Abweichungen bei den beiden Städten gegenüber dem Landesdurchschnitt (siehe Abbildung 49). Das Handbuch hat für den Innerortsbereich insgesamt deutlich höhere Sattelzuganteile (32 %).

Ein Vergleich der Anteile verschiedener Gesamtmassenklassen zwischen den Städten, dem Land und dem Bund sowie dem Handbuch ist in Abbildung 50 angegeben. Es ist zu beachten, dass die KBA-Daten Bestände und das Handbuch Fahrleistungen widerspiegeln.

Abbildung 51 zeigt die NO_x-Handbuch-Emissionsfaktoren für die verschiedenen Untergruppen von SNfz für die Flottenzusammensetzung von 2009. Abbildung 52 zeigt analoges für die NO₂-Emissionen. Der Einfluss der Gesamtmasse ist unverkennbar.

Berechnet man mit diesen Faktoren und den Wichtungen aus Abbildung 50 die effektiven Emissionsfaktoren für die schweren Nutzfahrzeuge, so erhält man die in Abbildung 53 und Abbildung 54 dargestellten Ergebnisse. Danach würden die NO_x/NO₂-Emissionen für Dresden und Leipzig vom Handbuch überschätzt. Beim Vergleich muss man jedoch auch noch die Flottenzusammensetzung nach Emissionsstufen berücksichtigen. Diese liegt für Dresden und Leipzig für das Bezugsjahr 2008

und für Deutschland gesamt für das Bezugsjahr 2009 vor. Da das Handbuch Deutschland gesamt repräsentieren soll, wurde für den Vergleich auch hier das Bezugsjahr 2009 gewählt.

Die Ergebnisse können für Lkw mit Gesamtmassen bis 7.500 kg, 7.501 kg bis 12.000 kg, über 12.000 kg und für Sattelzüge bestimmt werden und sind in Abbildung 55 bis Abbildung 58 dargestellt. Es ist zu beachten, dass es sich beim Handbuch um Fahrleistungsanteile handelt, bei den übrigen Angaben um Bestandsdaten. Weiterhin muss angemerkt werden, dass „Sonstige“ beim Handbuch „vor EURO 1“ bedeutet, während diese Rubrik bei den Bestandsdaten wahrscheinlich auch andere, nicht geschlüsselte Fahrzeuge umfasst.

Für Lkw bis 7.500 kg Gesamtmasse fällt zunächst einmal auf, dass der Anteil „Sonstige“ in Dresden und Leipzig erheblich größer ist als im Bestand und im Handbuch, bei EURO 3 und EURO 4 ist dies umgekehrt. Die Fahrzeuge im Dresden und Leipzig sind also im Mittel älter als der Bundesdurchschnitt, was auch die Altersverteilung der Lkw in Abbildung 59 bestätigt. Darüber hinaus zeigen sich auch signifikante Unterschiede zwischen den Bestandsanteilen für Deutschland und den Fahrleistungsanteilen des Handbuchs.

Ein ähnliches Bild ergibt sich auch für Lkw mit Gesamtmassen zwischen 7.501 kg und 12.000 kg, wobei allerdings die Unterschiede zwischen Handbuch und Bundesdurchschnittsbestand deutlich geringer sind. Dafür sind die Anteile von Fahrzeugen der Emissionsstufen EURO 4 und 5 in Dresden und Leipzig nur halb so groß wie im Bundesdurchschnitt und im Handbuch, wobei sich beide Städte untereinander auch deutlich unterscheiden, was bei den kleineren Lkw nicht der Fall war.

Bei den Lkw über 12.000 kg Gesamtmasse sind zwischen Dresden und Leipzig einerseits und dem Bundesdurchschnitt und dem Handbuch andererseits zwar immer noch die zuvor erwähnten Unterschiede vorhanden, allerdings in geringerem Umfang. Die Unterschiede zwischen Handbuch und Bundesdurchschnitt können durch die Fahrleistungen erklärt werden.

Wie aus Abbildung 59 ersichtlich, sind Sattelzugmaschinen deutlich jünger als Lkw. Dies spiegelt sich auch bei den Anteilen der Emissionsstufen wider. Die größten Anteile weisen die EURO 5 Fahrzeuge auf, wobei es hier allerdings wieder deutliche Unterschiede zwischen Dresden und Leipzig gibt.

Für das Bezugsjahr 2009 wurden mit den unterschiedlichen Emissionsstufenanteilen für Dresden, Leipzig, Deutschland gesamt und die Handbuch-Fahrleistungen die effektiven Emissionsfaktoren für die verschiedenen Klassen von schweren Nutzfahrzeugen bestimmt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 60 und Abbildung 61 für eine innerörtliche Hauptverkehrsstraße mit starkem Verkehr dargestellt. Die bundesdeutschen Durchschnitts-Bestandszahlen führen immer zu niedrigeren Werten als die Sachsen-spezifischen Bestandszahlen. Auch das Handbuch führt zu Unterschätzungen mit Ausnahme der Sattelzüge. Bestimmt man allerdings mit Hilfe der Klassenanteile aus Abbildung 62 den effektiven Gesamt-Emissionsfaktor, so stellt man fest, dass das Handbuch ohne Veränderungen der Fahrleistungsanteile die Situation für die beiden sächsischen Städte recht gut wiedergibt.

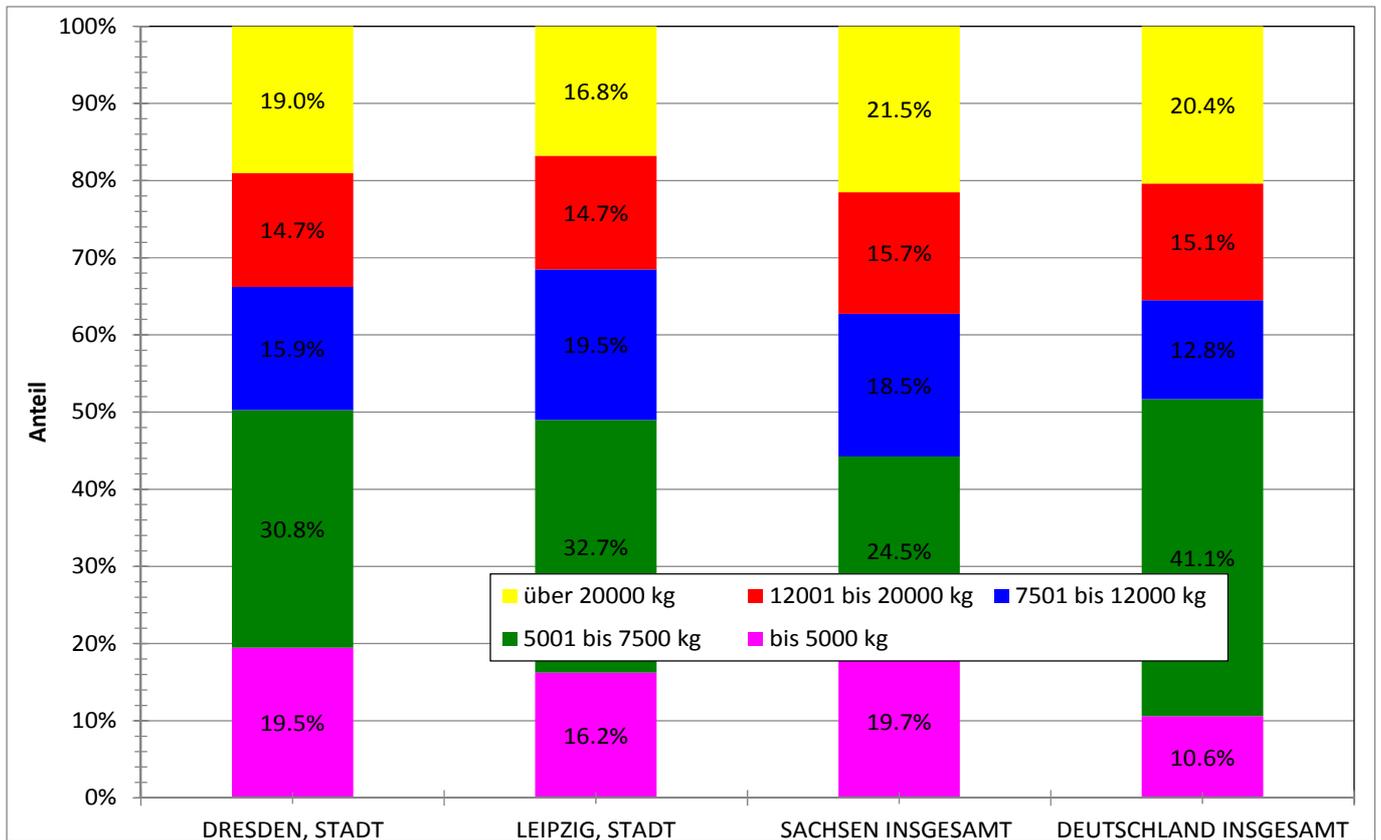


Abbildung 48: Bestandsanteile von Gesamtmassenklassen innerhalb der schweren Nutzfahrzeuge für 2009 (Quelle: KBA Fz1 (2010))

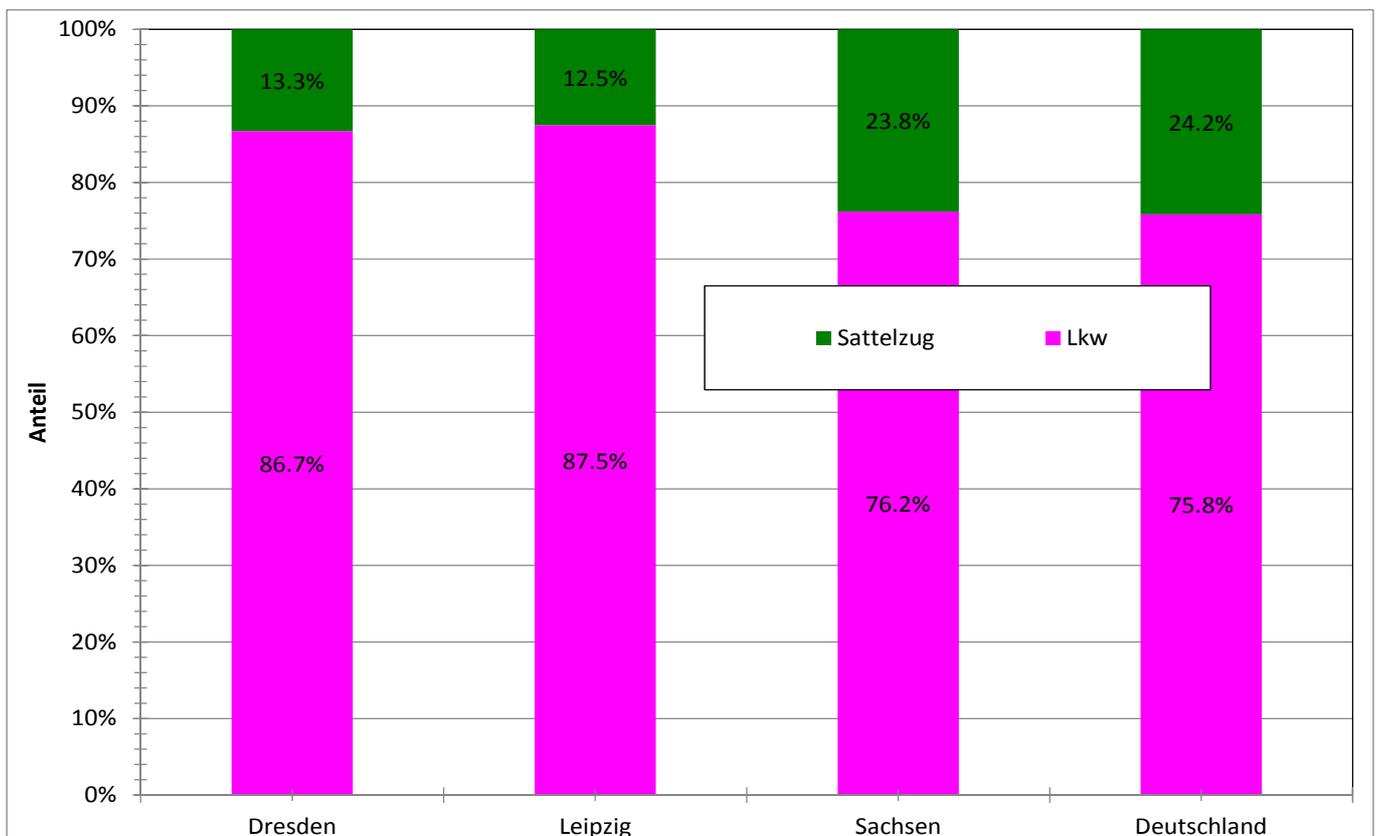


Abbildung 49: Bestandsanteile von Lkw und Sattelzugmaschinen in 2009 in Sachsen und im Bundesdurchschnitt (Quelle: KBA Fz1 (2010))

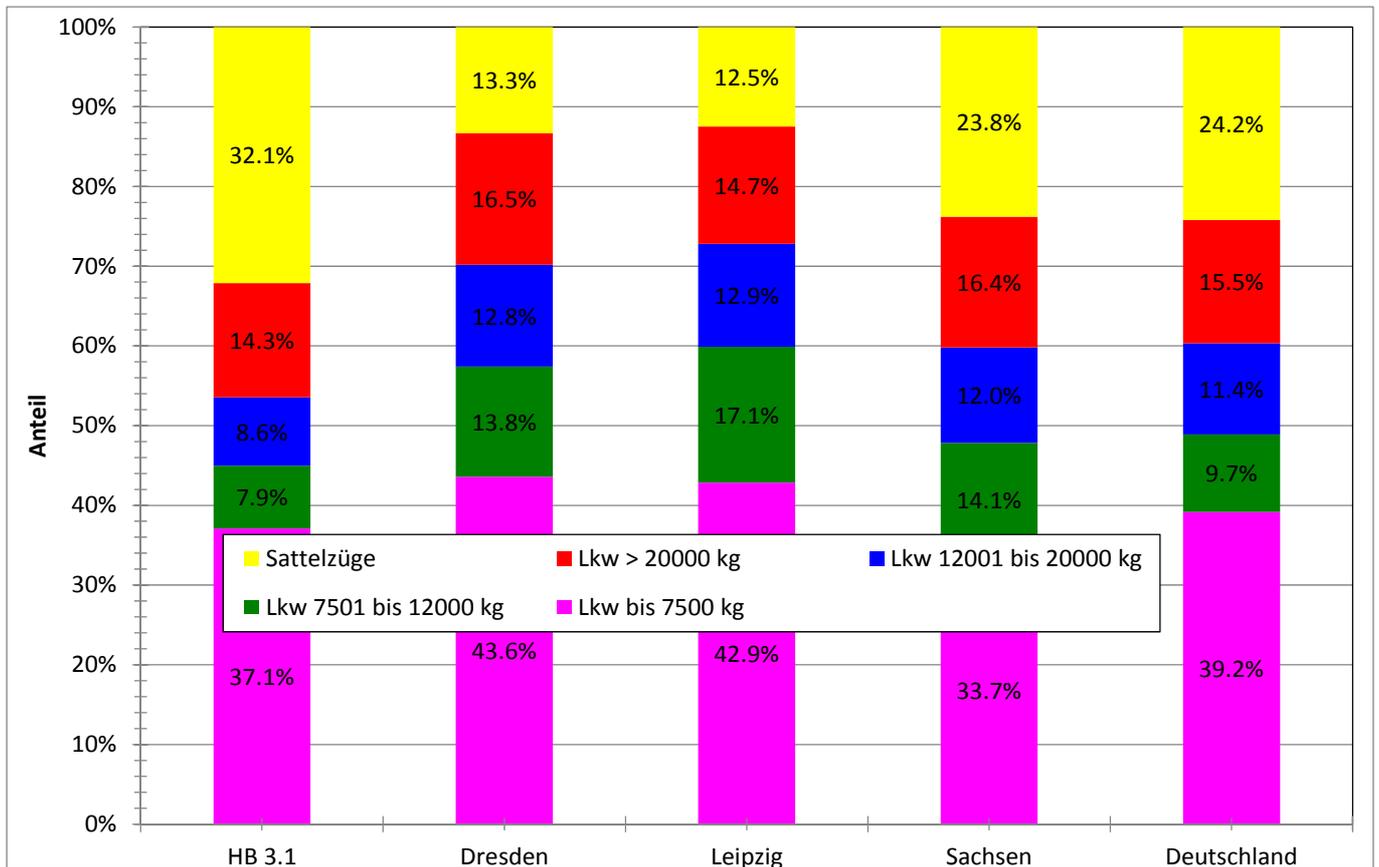


Abbildung 50: Vergleich der Bestandsanteile verschiedener Gesamtmassenklassen bei den Lkw für 2009 (Quelle: KBA Fz1 (2010))

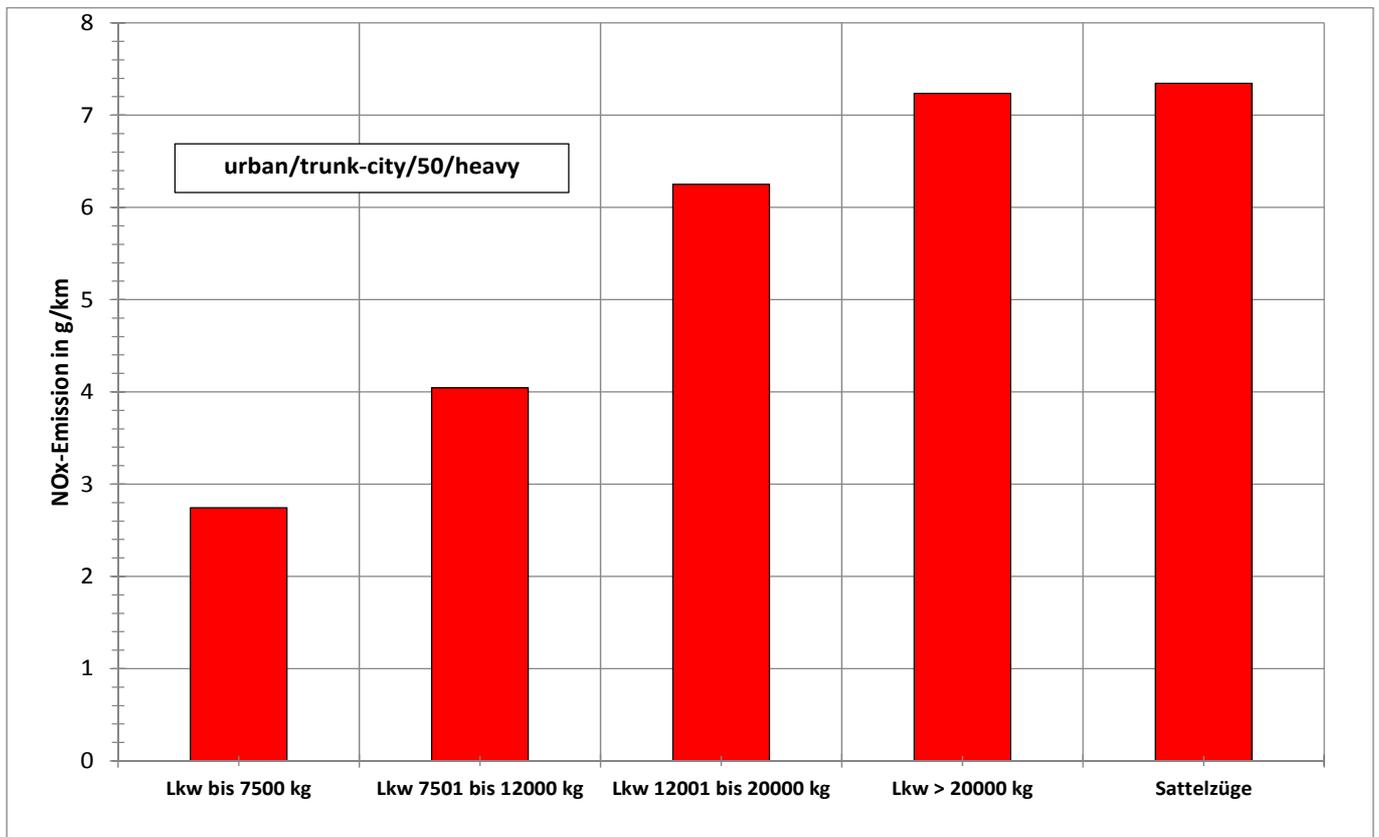


Abbildung 51: NO_x-Handbuch-Emissionsfaktoren für die verschiedenen Untergruppen von SNfz für 2009

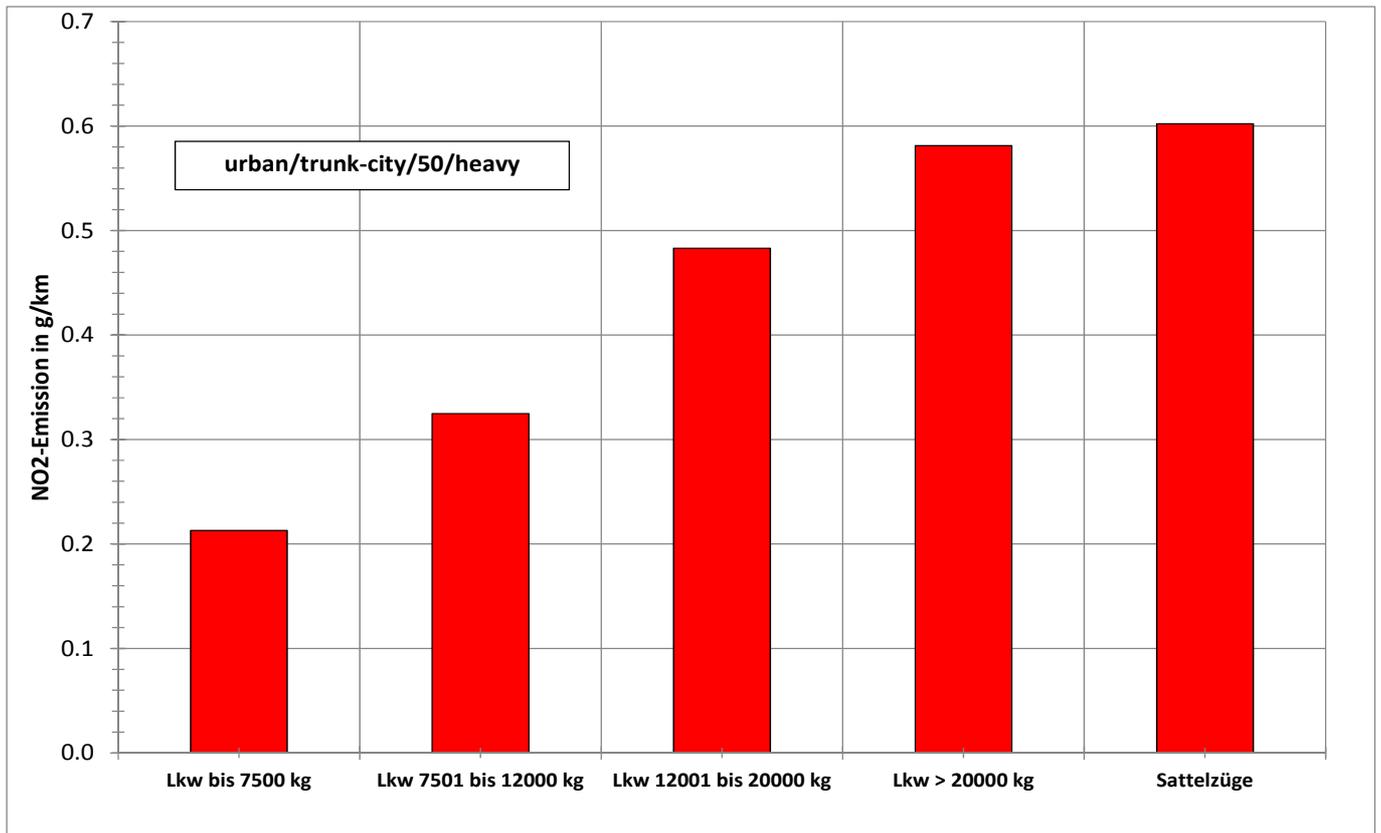


Abbildung 52: NO₂-Handbuch-Emissionsfaktoren für die verschiedenen Untergruppen von SNfz für 2009

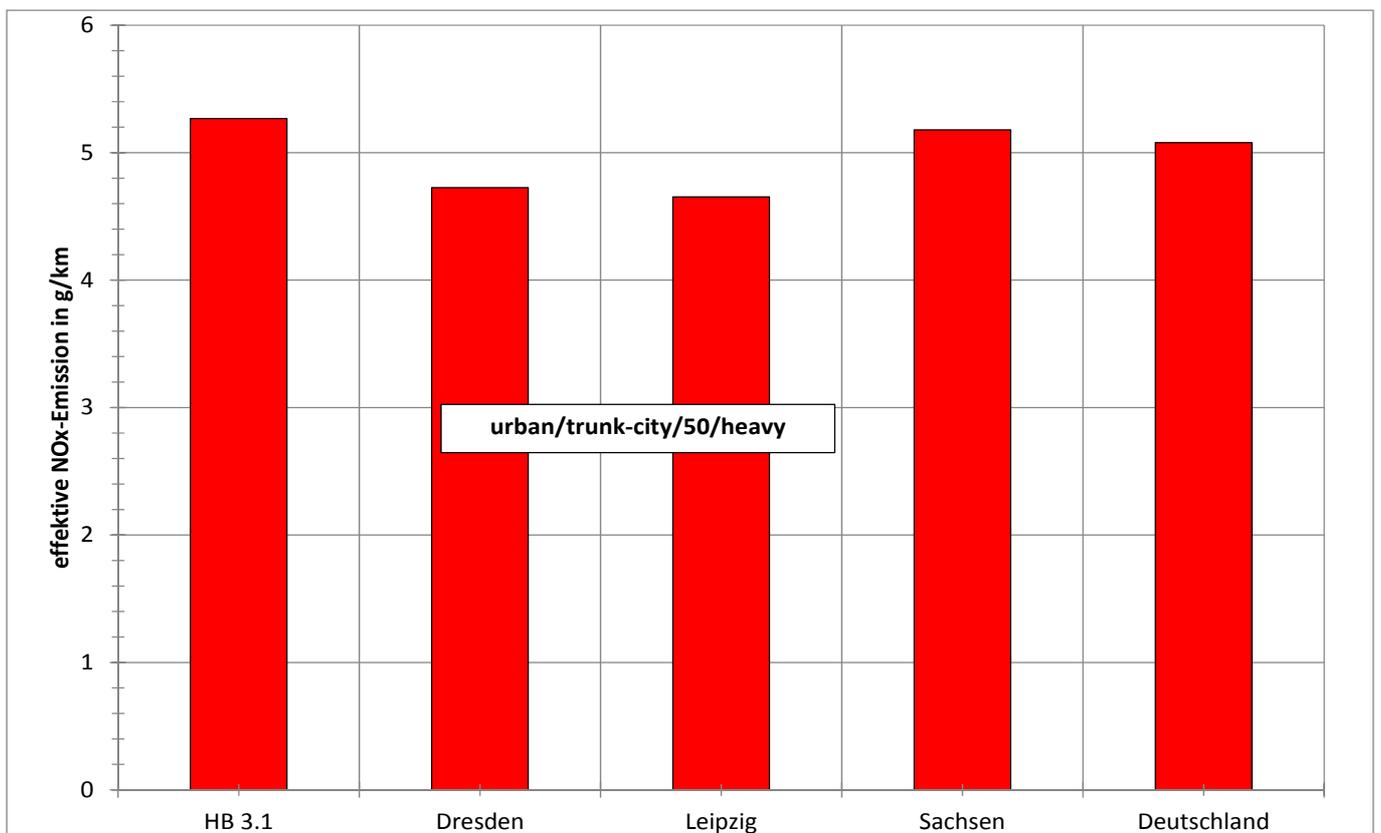


Abbildung 53: Resultierende NO_x-Emissionsfaktoren für SNfz für die Untergruppenanteile aus Abbildung 50 (Bezugsjahr 2009). Die Wichtungen für Dresden, Leipzig, Sachsen und Deutschland beruhen auf Bestandsanteilen, die Wichtungen für HBEFA 3.1 auf Fahrleistungsanteilen.

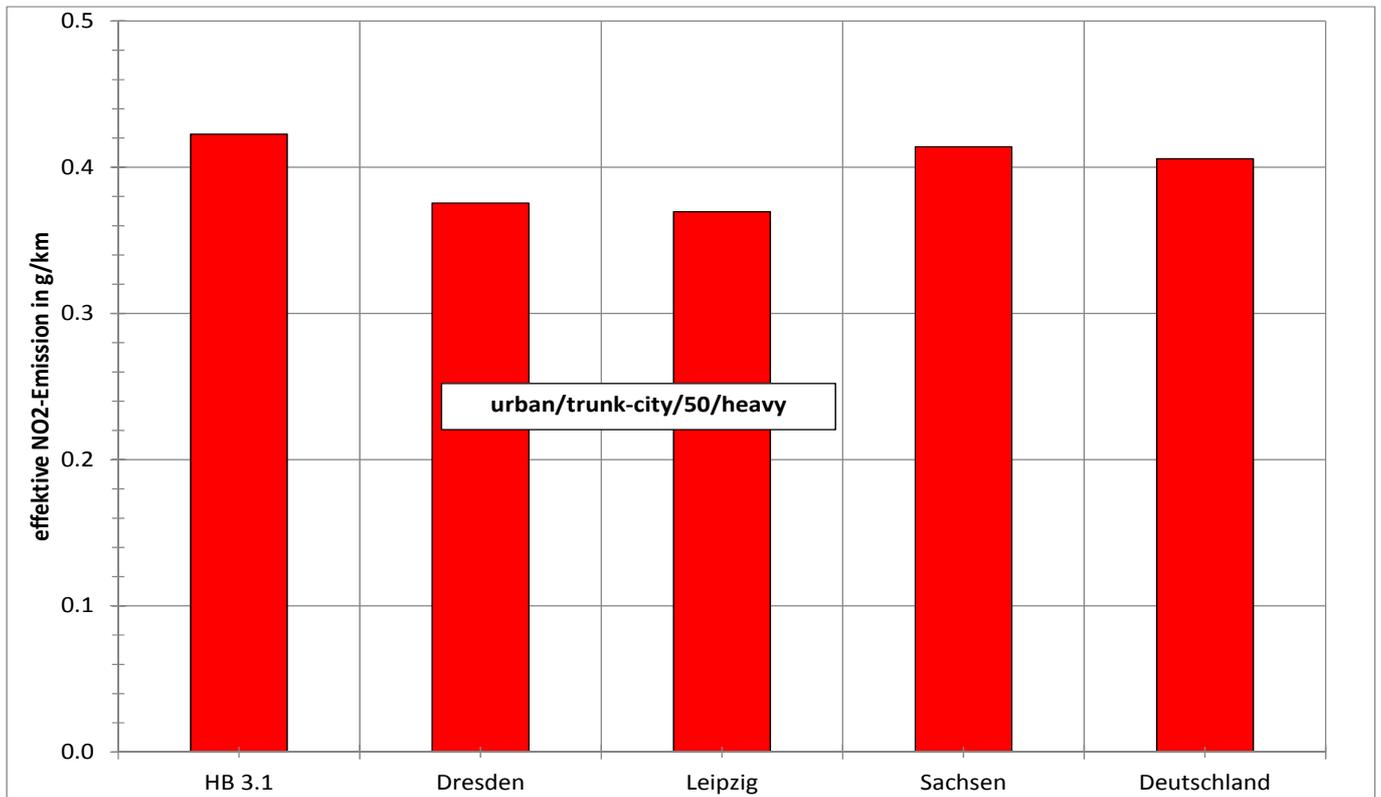


Abbildung 54: Resultierende NO₂-Emissionsfaktoren für SNfz für die Untergruppenanteile aus Abbildung 50 (Bezugsjahr 2009). Die Wichtungen für Dresden, Leipzig, Sachsen und Deutschland beruhen auf Bestandsanteilen, die Wichtungen für HBEFA 3.1 auf Fahrleistungsanteilen.

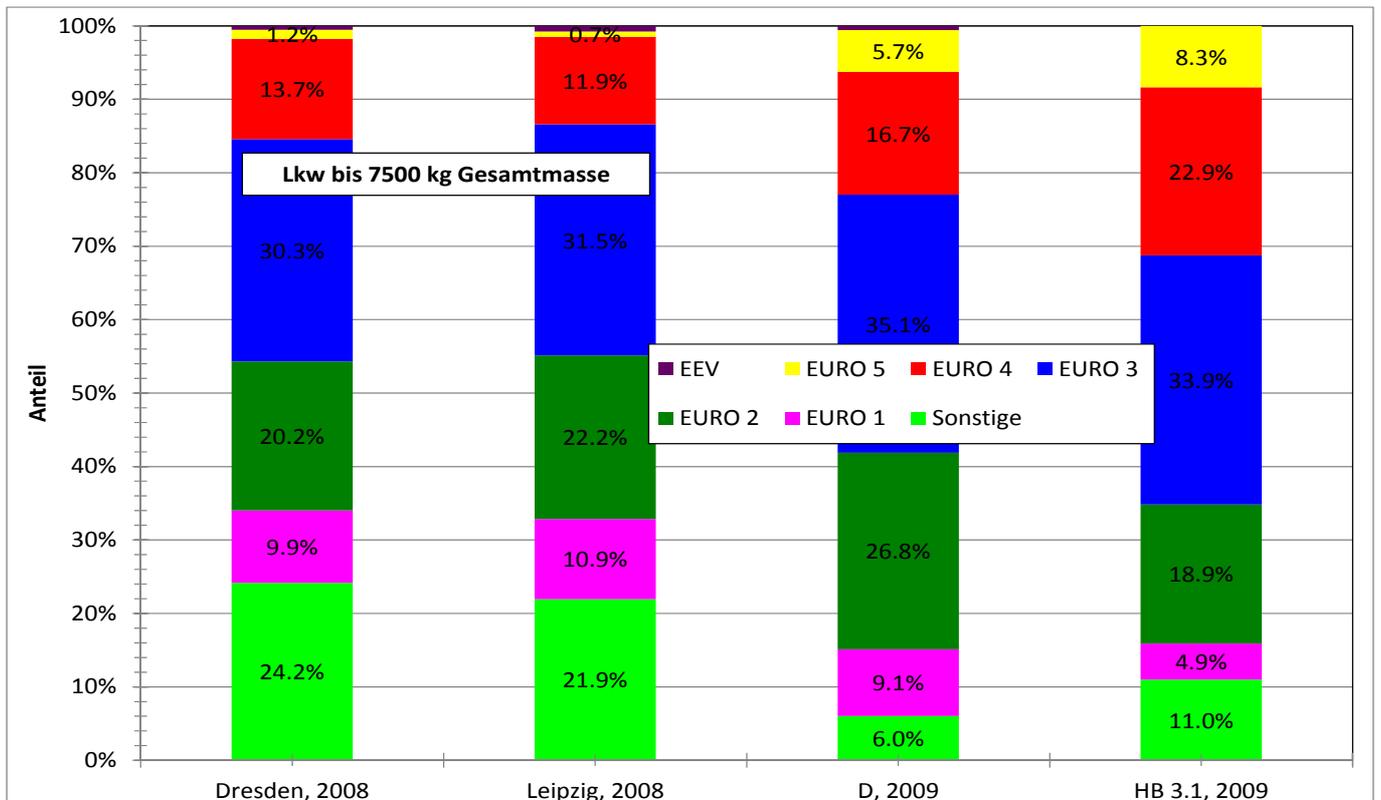


Abbildung 55: Vergleich der Anteile verschiedener Emissionsstufen bei Lkw mit Gesamtmassen bis 7.500 kg (Quelle für D, 2009: KBA Fz13 (2010)). Die Wichtungen für Dresden, Leipzig und Deutschland beruhen auf Bestandsanteilen, die Wichtungen für HBEFA 3.1 auf Fahrleistungsanteilen.

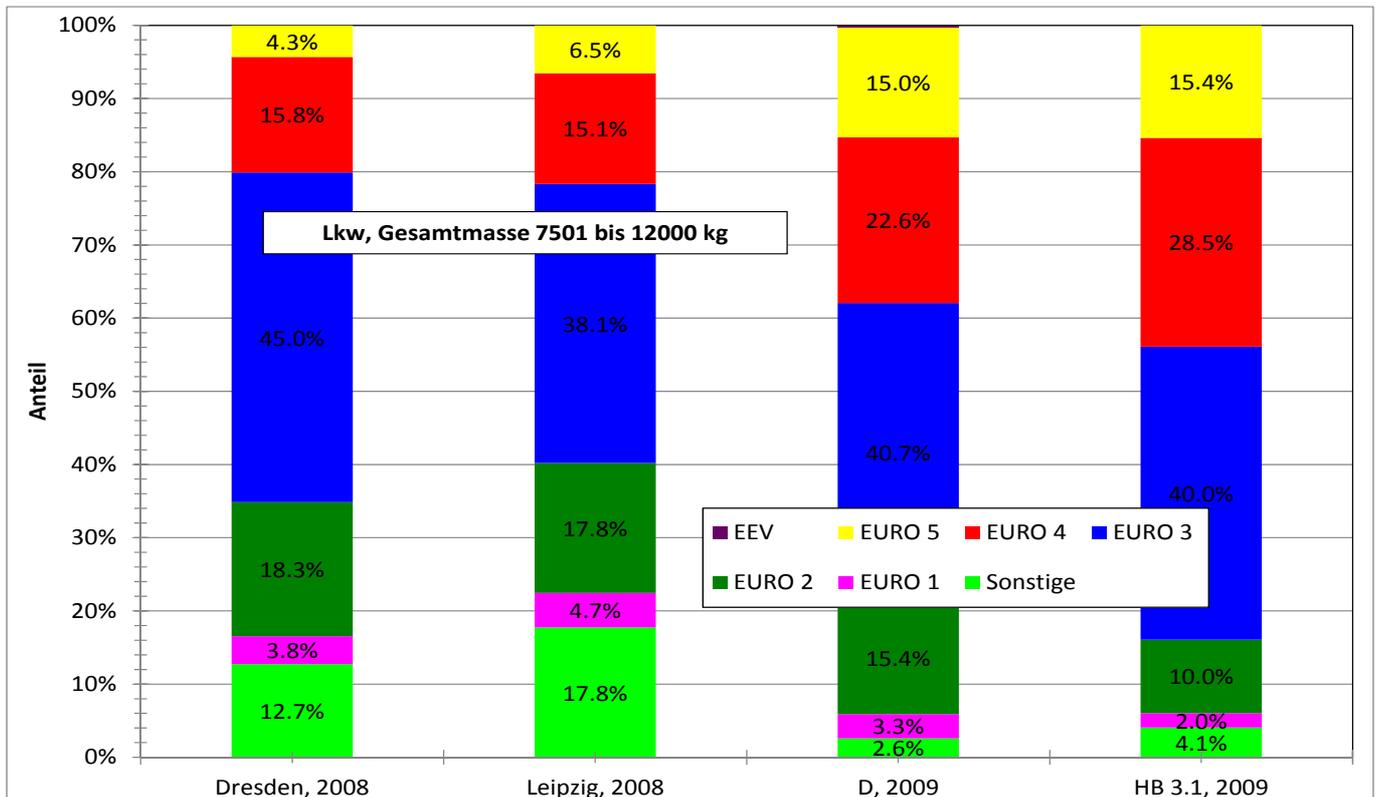


Abbildung 56: Vergleich der Anteile verschiedener Emissionsstufen bei Lkw mit Gesamtmassen zwischen 7.501 kg und 12.000 kg (Quelle für D, 2009: KBA Fz13 (2010)). Die Wichtungen für Dresden, Leipzig und Deutschland beruhen auf Bestandsanteilen, die Wichtungen für HBEFA 3.1 auf Fahrleistungsanteilen.

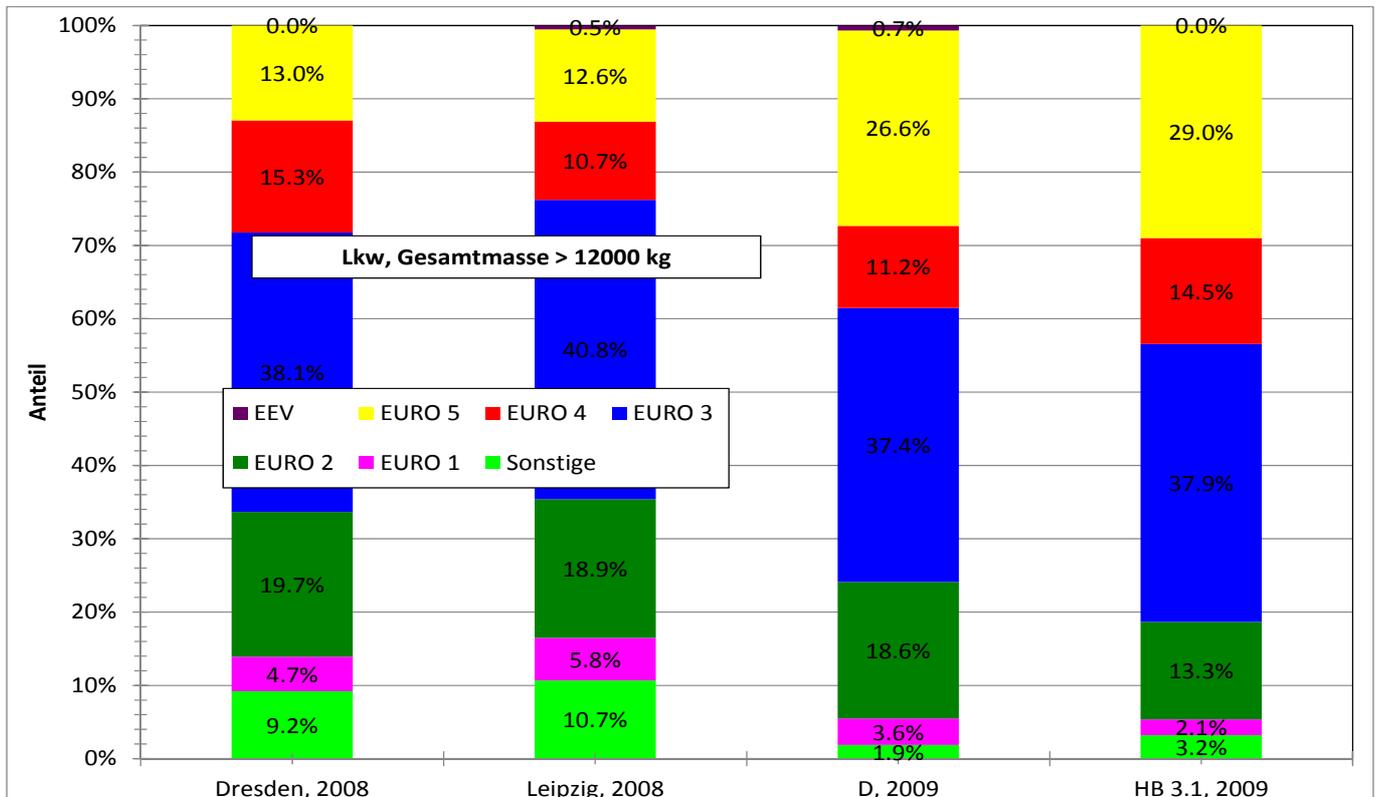


Abbildung 57: Vergleich der Anteile verschiedener Emissionsstufen bei Lkw mit Gesamtmassen über 12.000 kg (Quelle für D, 2009: KBA Fz13 (2010)). Die Wichtungen für Dresden, Leipzig und Deutschland beruhen auf Bestandsanteilen, die Wichtungen für HBEFA 3.1 auf Fahrleistungsanteilen.

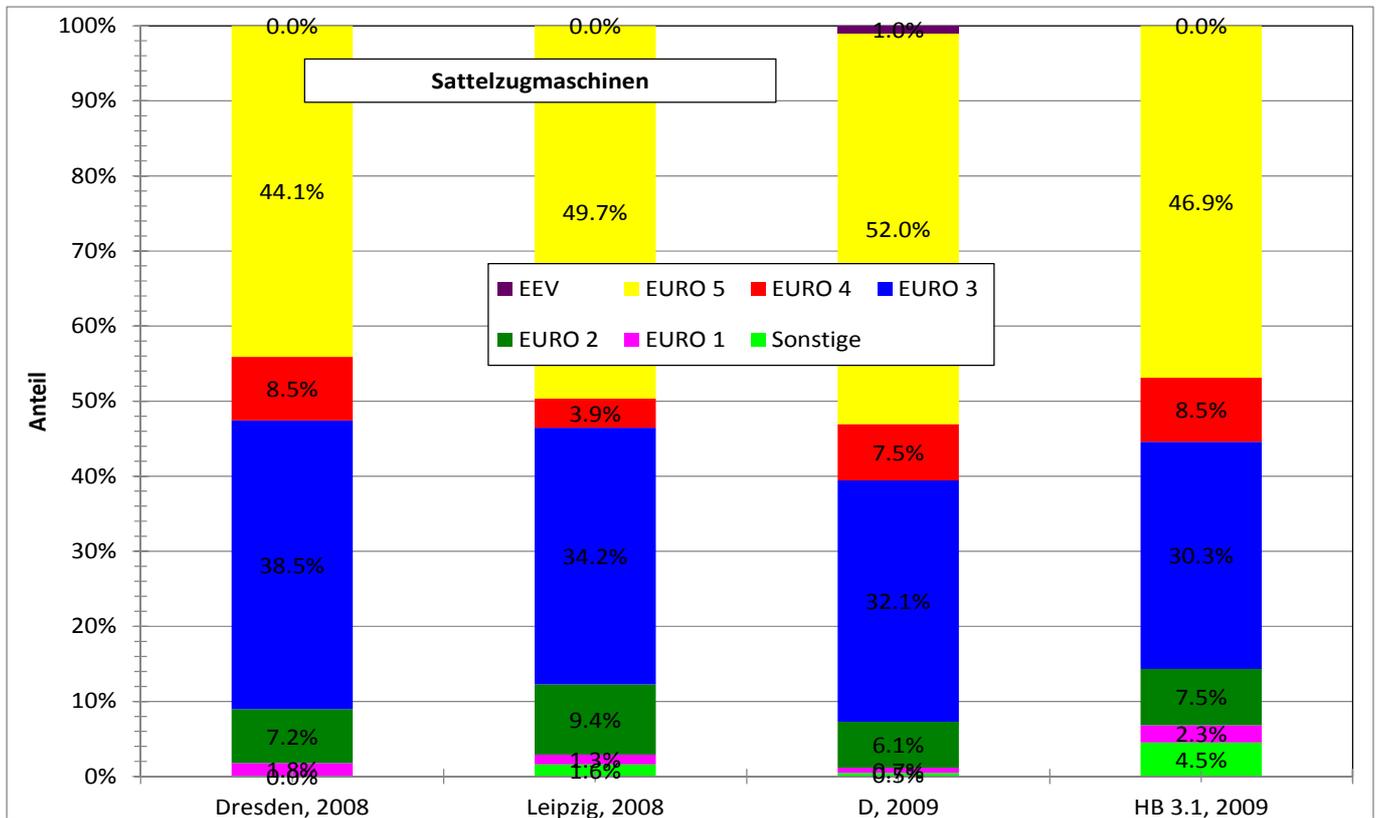


Abbildung 58: Vergleich der Anteile verschiedener Emissionsstufen bei Sattelzügen (Quelle für D, 2009: KBA Fz13 (2010)). Die Wichtungen für Dresden, Leipzig und Deutschland beruhen auf Bestandsanteilen, die Wichtungen für HBEFA 3.1 auf Fahrleistungsanteilen.

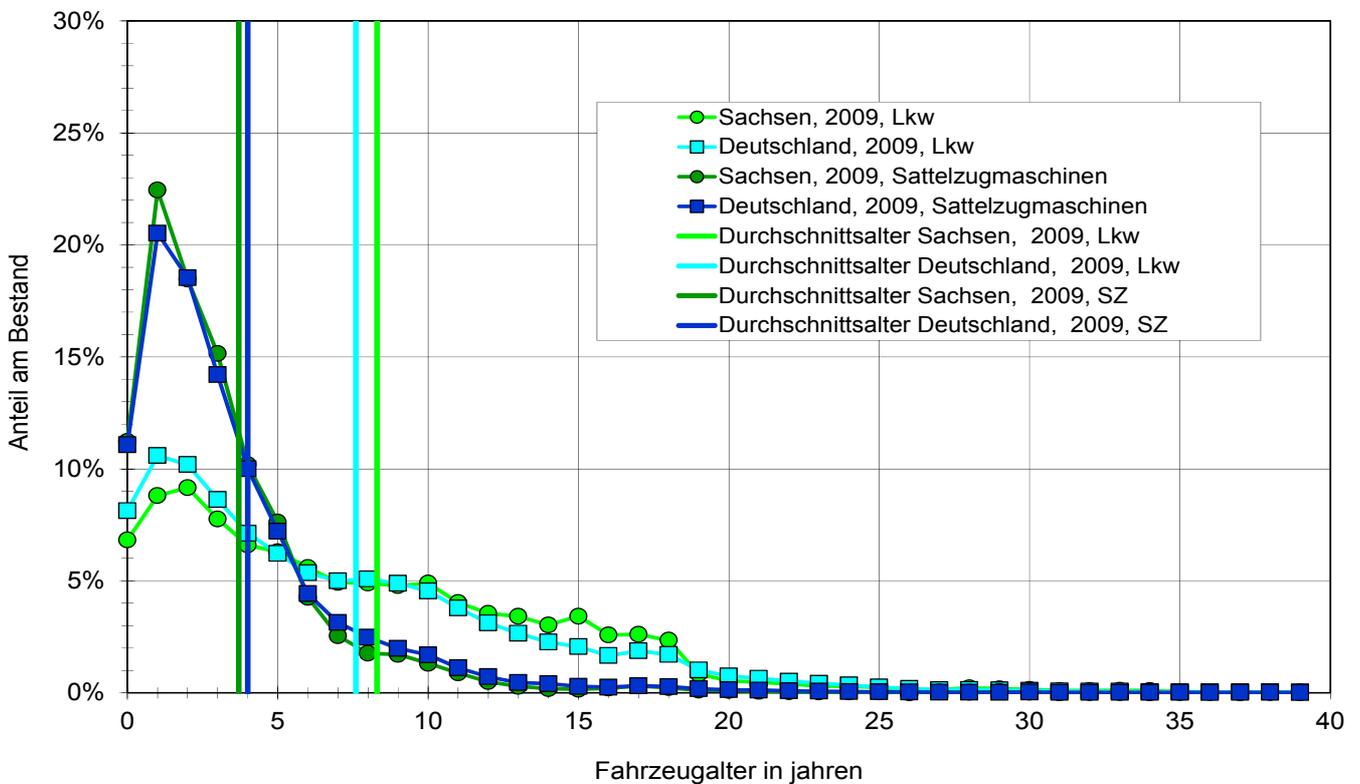


Abbildung 59: Altersverteilungen von Lkw und Sattelzugmaschinen in Sachsen und dem gesamten Bundesgebiet (Quelle: KBA Fz15 (2010))

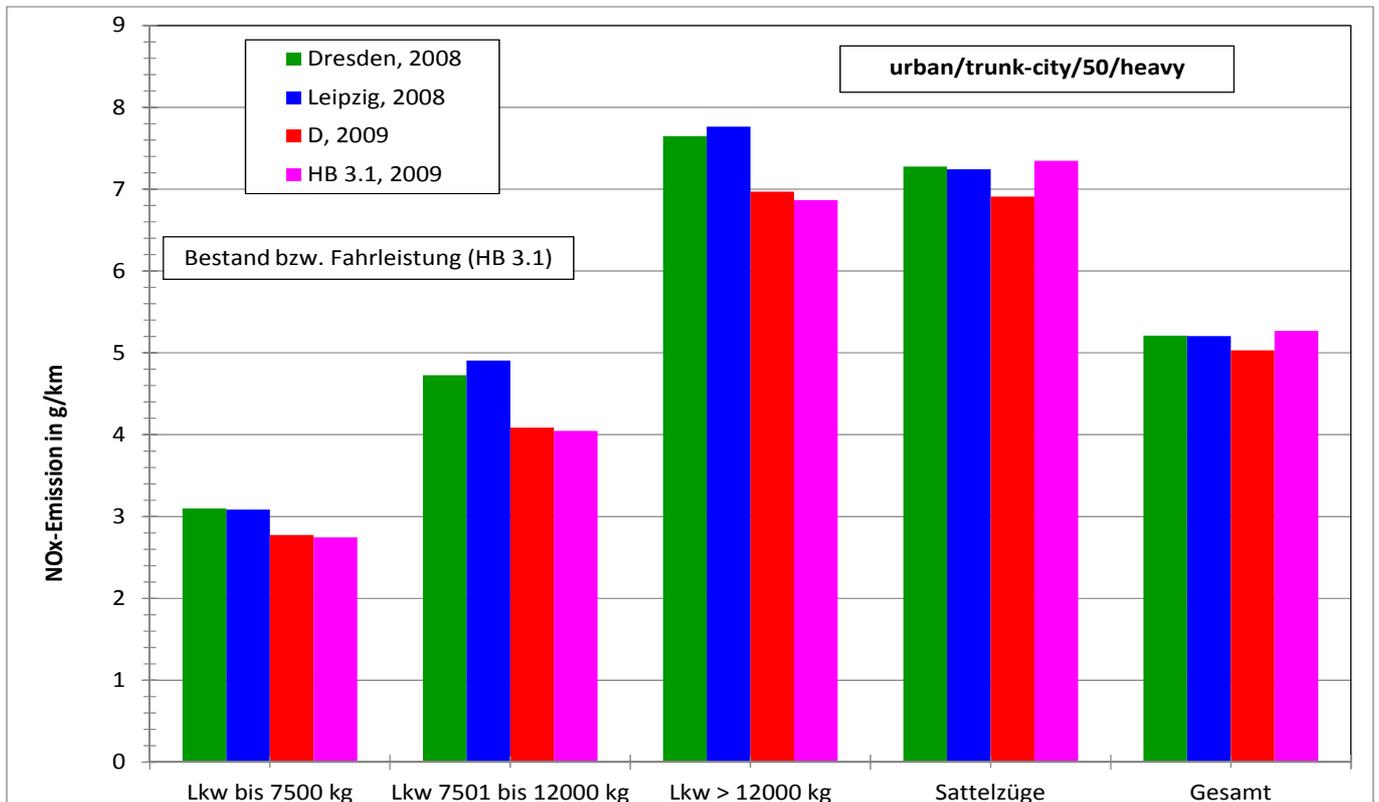


Abbildung 60: NO_x-Emissionsfaktoren für verschiedene Klassen von schweren Nutzfahrzeugen und unterschiedliche Emissionsstufenanteile. Die Wichtungen für Dresden, Leipzig und Deutschland beruhen auf Bestandsanteilen, die Wichtungen für HBEFA 3.1 auf Fahrleistungsanteilen.

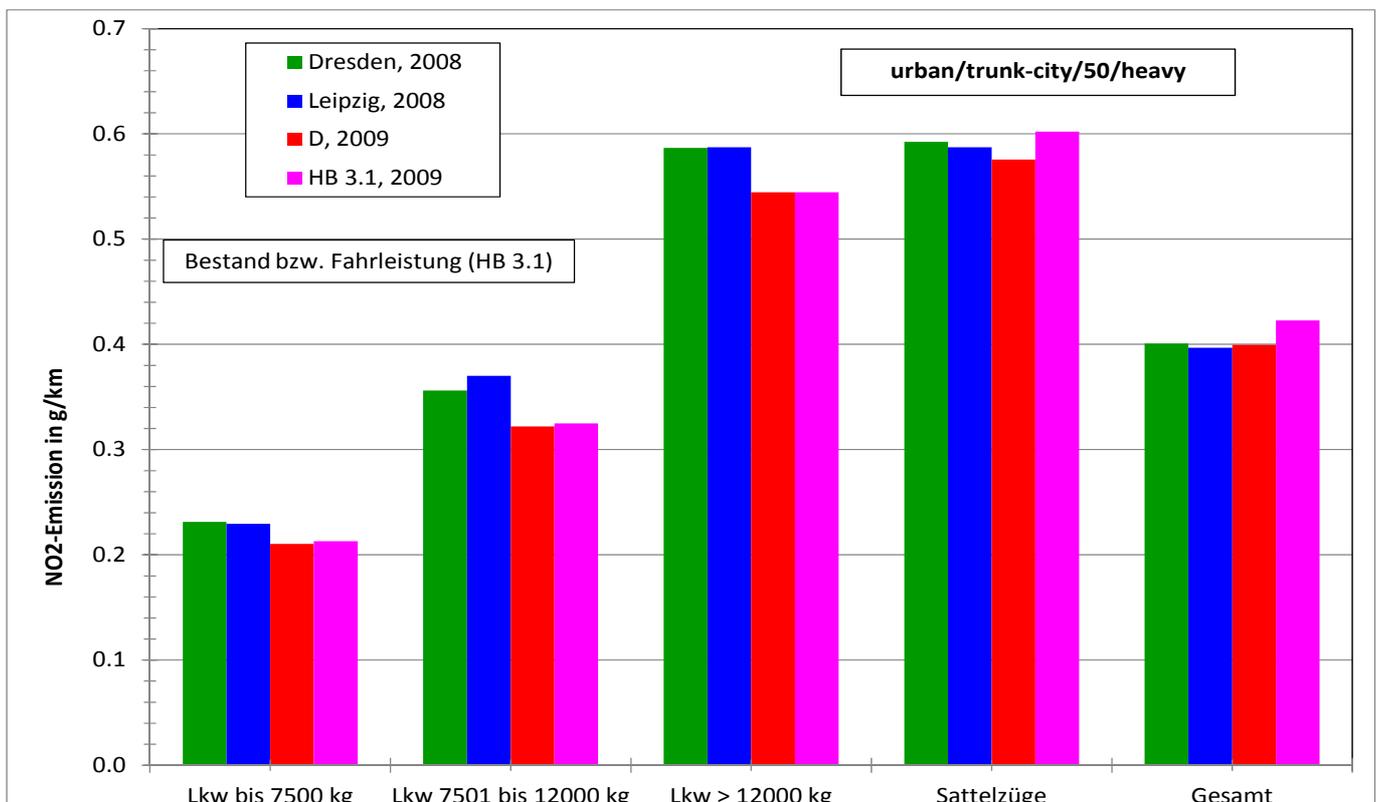


Abbildung 61: NO₂-Emissionsfaktoren für verschiedene Klassen von schweren Nutzfahrzeugen und unterschiedliche Emissionsstufenanteile. Die Wichtungen für Dresden, Leipzig und Deutschland beruhen auf Bestandsanteilen, die Wichtungen für HBEFA 3.1 auf Fahrleistungsanteilen.

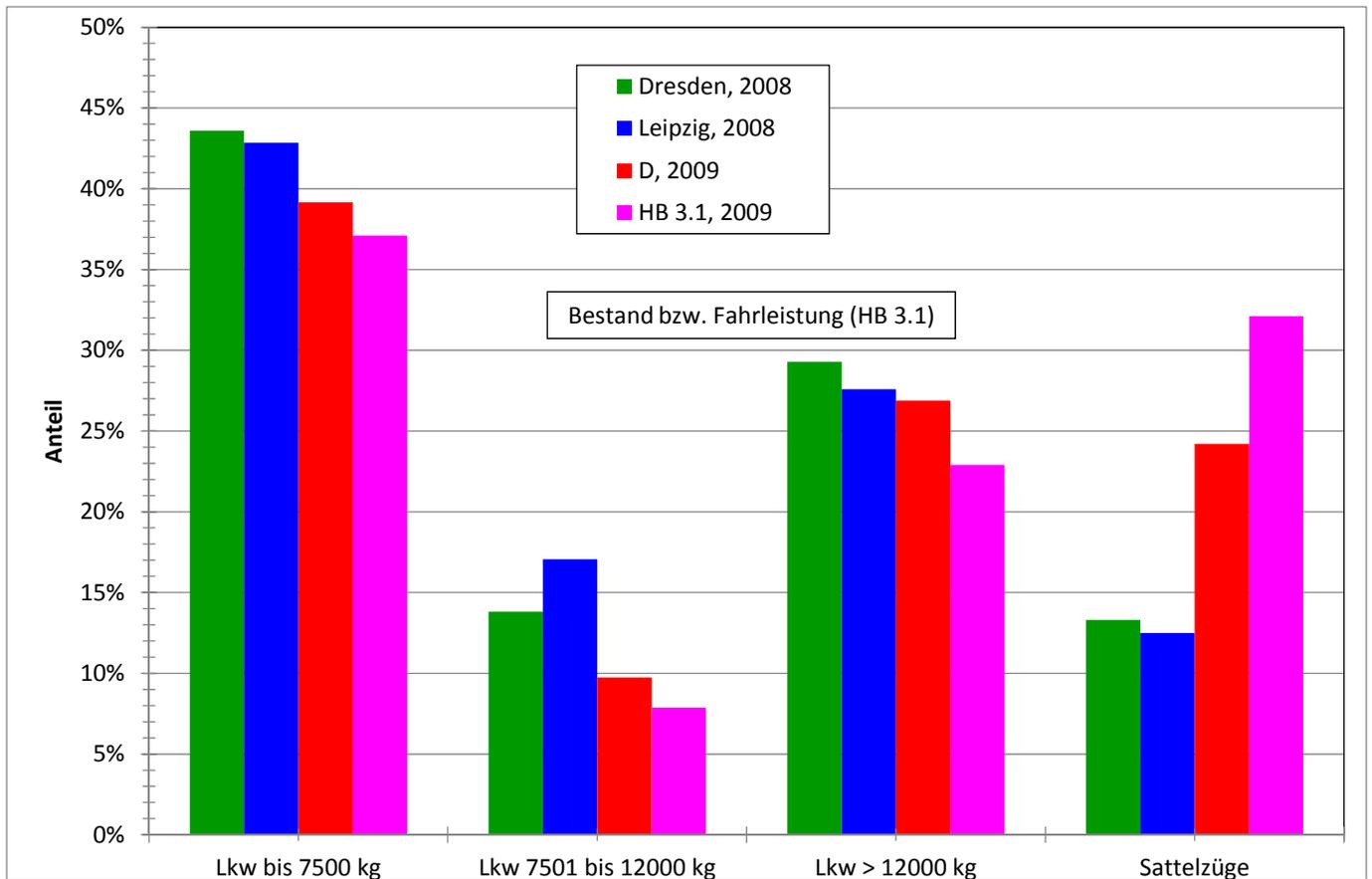


Abbildung 62: Bestands- bzw. Fahrleistungsanteile für verschiedene Klassen von schweren Nutzfahrzeugen für Dresden, Leipzig, Deutschland gesamt und HBEFA 3.1. Die Wichtungen für Dresden, Leipzig und Deutschland beruhen auf Bestandsanteilen, die Wichtungen für HBEFA 3.1 auf Fahrleistungsanteilen.

4.3 Zuordnung von Verkehrssituationen gemäß HBEFA 3.1

4.3.1 Beschreibung der Verkehrssituationen des HBEFA 3.1

In den vergangenen Jahren wurde das EU-FE-Vorhaben ARTEMIS durchgeführt, in dem ein dem Handbuch ähnliches Modell entwickelt wurde. Das dort entwickelte Schema von Straßenkategorien und Verkehrssituationen ist wesentlich umfangreicher als das des HBEFA 2.1. Die Handbuch-Arbeitsgruppe hat sich entschieden, für das HBEFA 3.1 die positiven Ergebnisse aus dem ARTEMIS-Vorhaben zu übernehmen.

Das nachfolgende Schema wurde aus dem ARTEMIS-Vorhaben übernommen. Die 4 level of service bezeichnen unterschiedliche Verkehrsbelastungen (free, heavy, saturated, stop & go oder frei, starker Verkehr, gesättigter Verkehr, stop & go).

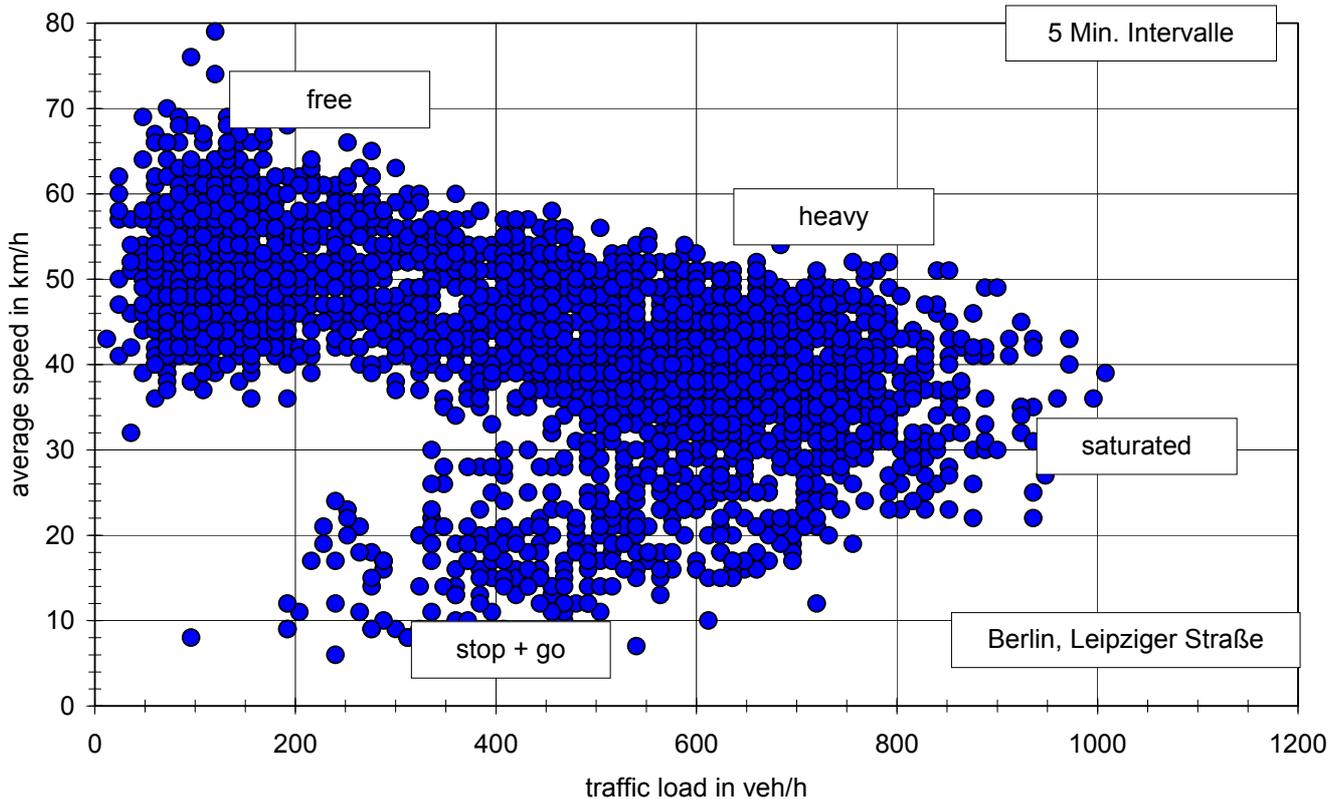


Abbildung 63: Fundamentaldiagramm mit Zuordnung der 4 level of service (Bild aus IQ MOBILITY (2008))

4.3.2 Zuordnung für die Bergstraße in Dresden und die Lützner Straße in Leipzig

Für die Bergstraße in Dresden als auch die Lützner Straße in Leipzig wurden von der TU Dresden Verkehrssituationen und Verkehrsbelegungen durch Messfahrten mit einem Pkw erfasst (siehe TU DRESDEN (2006A) und TU DRESDEN (2006B)). In TU DRESDEN (2006B) ist die Methodik der Zuordnung der Verkehrssituationen des Handbuch wie folgt beschrieben:

„Nach der an der TU Dresden entwickelten Methodik zur Bestimmung des Tagesganges der Verkehrssituationen wird nun so vorgegangen, dass jeder Stunde in jedem Abschnitt mindestens eine Fahrkurve zugeordnet und dann Stunden mit ähnlichen Kennwerten zusammengefasst werden. Wenn also z. B. in einem Abschnitt zwischen 08:00 Uhr und 15:00 Uhr keine signifikanten verkehrsstärkebedingten Unterschiede in den sieben Fahrkurven auftreten, dann werden diese sieben Fahrkurven zu einem Fahrprofil zusammengefasst und für diese die Kenngrößen Reisegeschwindigkeit, Fahrgeschwindigkeit und das Produkt aus Geschwindigkeit mal Beschleunigung bestimmt. Errechnet werden die Mittelwerte, die 10 %-, 25 %-, 75 %-, und 90 %-Percentile und die Standardabweichung. Weiterhin werden die Anteile an Standzeit und an Konstantfahrt ermittelt. Mit Hilfe dieser Kenngrößen ist es durch Vergleich mit den Kenngrößen der Pkw-Fahrmuster möglich, die für den betreffenden Zeitraum am besten zutreffende Verkehrssituation auszuwählen.“

Die in TU DRESDEN (2006A) und TU DRESDEN (2006B) in den Anhängen dargestellten Verkehrssituationen als Ergebnisse des Vergleichs basieren natürlich auf dem Handbuch Version 2. In den folgenden Abschnitten wird die Zuordnung mit derselben Vorgehensweise auf die Verkehrssituationen des Handbuchs Version 3 aktualisiert. Da in TU DRESDEN (2006A) für einzelne Straßenabschnitte auch Linearkombinationen von Verkehrssituationen verwendet wurden, um die (gemessenen) statistischen Kennwerte möglichst genau zu erreichen, wurde hier mit den Verkehrssituationen des neuen Handbuchs in analoger Weise verfahren.

4.3.2.1 Bergstraße in Dresden

Die Bergstraße in Dresden wurde für die Erfassung des Fahrverhaltens durch die Universität Dresden in folgende vier Abschnitte eingeteilt:

- Abschnitt 1, LSA Fritz Löffler Platz bis LSA Fritz Förster Platz,
- Abschnitt 2, LSA Fritz Förster Platz bis LSA Mommsenstraße,
- Abschnitt 3, LSA Mommsenstraße bis LSA Nöthnitzer Straße,
- Abschnitt 4, LSA Nöthnitzer Straße bis Beginn Rampe Kohlenstraße

Die Bergstraße ist Teil der Bundesstraße 170 und würde wegen des Tempolimits von 50 km/h und der örtlichen Gegebenheiten als Agglomeration, Hauptverkehrsstraße mit Tempolimit 50 km/h in das Straßentypschemata des HBEFA 3.1 eingeordnet.

Für die vier Verkehrszustände ergeben sich für diesen Straßentyp Kennwerte der zugrundeliegenden Fahrzyklen wie in Tabelle 15 dargestellt. Tabelle 16 zeigt Durchschnittsgeschwindigkeiten und Stillstandsanteile aus den von der TU Dresden gemessenen Fahrverläufen. Nur die Hälfte der Ergebnisse kann näherungsweise den Verkehrszuständen des Straßentyps Agglomeration Hauptverkehrsstraße zugeordnet werden:

- Frei: Abschnitte 3 und 4, Fahrtrichtung 1, stadtauswärts
- Starker Verkehr: Abschnitt 1, Fahrtrichtung 2, stadteinwärts
- Stop & go: Abschnitt 4, Fahrtrichtung 2, stadteinwärts

Dies liegt allerdings daran, dass die Messergebnisse derart große sowohl richtungs- als auch abschnittsbezogene Unterschiede aufweisen, die sich in einem Modell wie dem Handbuch nicht abbilden lassen.

Tabelle 15: Kennwerte der Fahrzyklen für den Straßentyp „Agglomeration, Hauptverkehrsstraße“ für die vier Verkehrszustände

	Parameter	Verkehrszustand			
		frei	starker Verkehr	gebunden	stop & go
	p_stop	2.4%	7.1%	16.0%	27.6%
Reise- geschwin- digkeit in km/h	v_ave	45.08	37.00	30.77	12.77
	std_dev_v	13.13	16.04	19.38	10.40
	v_10	29.50	14.48	0.00	0.00
	v_25	37.80	30.15	15.83	0.00
	v_75	53.73	47.51	47.01	20.36
	v_90	60.81	57.03	52.05	26.68
Fahr- geschwin- digkeit in km/h	vf_ave	46.19	39.81	36.63	17.62
	std_dev_vf	11.20	12.83	15.23	7.99
	vf_10	31.31	25.36	14.05	7.02
	vf_25	38.66	32.58	26.55	11.93
	vf_75	53.81	48.66	47.88	23.17
	vf_90	60.84	58.12	54.38	28.78
v*a in m ² /s ³	vma_ave	-0.16	-0.26	-0.27	-0.19
	std_dev_vma	6.11	7.15	6.09	3.06
	vma_10	-6.47	-7.87	-8.86	-4.22
	vma_25	-3.90	-4.01	-2.45	-1.44
	vma_75	3.24	4.06	3.19	1.06
	vma_90	6.74	7.72	6.91	3.42

Tabelle 16: Bergstraße, Kennwerte der Fahrzyklen aus den Fahrverhaltensuntersuchungen der TU Dresden für die vier Straßenabschnitte (Fahrtrichtung 1: stadtauswärts; Fahrtrichtung 2: stadteinwärts)

Abschnitt	Fahrtrichtung 1		Fahrtrichtung 2	
	v_ave in km/h	p_stop	v_ave in km/h	p_stop
1	18.3	48.6%	39.0	10.2%
2	43.9	6.8%	34.2	26.1%
3	47.4	0.0%	42.0	0.0%
4	52.0	0.0%	27.0	31.9%

Die Auswertung gemäß der Vorgehensweise der TU Dresden (Auswertung der gemessenen Fahrprofile und Vergleich von deren Kennwerten mit den Kennwerten der den Verkehrssituationen des HBEFA 3.1 zugrundeliegenden Fahrzyklen) zeigt die im Folgenden dargestellten Ergebnisse. Angesichts der großen Varianz der Messergebnisse (siehe Tabelle 16) wundert es nicht, dass auch Verkehrszustände aus dem ländlichen Bereich zugeordnet werden mussten. Es ist aber erstaunlich, dass keine tageszeitlichen Unterschiede in den Messergebnissen angegeben sind.

Für die Zuordnung wurden für die neuen HBEFA 3.1 Zyklen dieselben Kennwerte berechnet, wie im Anhang des Berichts der TU Dresden (siehe TU DRESDEN (2006A)) angegeben. Aus dem gesamten Zyklenpool wurden dann die den gemessenen Fahrprofilen nächstliegenden zugeordnet. Die Bezeichnungen entsprechen der im HBEFA 3.1 verwendeten Nomenklatur für die Verkehrssituationen.

- 1 Abschnitt 1, Richtung 1, stadtauswärts:
 - a) 50 % Rural, Distributor-District connection with curves, speed limit 50 km/h, saturated,
 - b) 50 % Rural, Distributor-District connection with curves, speed limit 50 km/h, stop & go,
- 2 Abschnitt 2, Richtung 1, stadtauswärts: Urban, city-trunk road, speed limit 50 km/h, heavy,
- 3 Abschnitt 3, Richtung 1, stadtauswärts: Rural, Distributor-District connection, speed limit 50 km/h, freeflow,
- 4 Abschnitt 4, Richtung 1, stadtauswärts:
 - a) 50 % Rural, Distributor-District connection, speed limit 50 km/h, freeflow,
 - b) 50 % Rural, local collector, speed limit 60 km/h, freeflow,
- 5 Abschnitt 1, Richtung 2, stadteinwärts: Rural, local collector with curves, speed limit 60 km/h, heavy,
- 6 Abschnitt 2, Richtung 2, stadteinwärts: Urban, local collector, speed limit 60 km/h, saturated,
- 7 Abschnitt 3, Richtung 2, stadteinwärts: Rural, access-residential, speed limit 50 km/h, freeflow,
- 8 Abschnitt 4, Richtung 2, stadteinwärts: Rural, Distributor-District connection with curves, speed limit 50 km/h, saturated.

Die folgenden Tabellen zeigen die Kennwerte für die o. g. Verkehrssituationen. Die durch Messungen mit einem Pkw gewonnenen Kennwerte sind in TU DRESDEN (2006A) angegeben.

Es bedeuten:

- Reisegeschwindigkeit – Durchschnittsgeschwindigkeit einschließlich Stillstandsanteile,
- Fahrgeschwindigkeit – Durchschnittsgeschwindigkeit ohne Stillstandsanteile,
- Average – Durchschnitt,
- Std_dev_v – Standardabweichung der Geschwindigkeit,
- v_10 - 10%-Perzentil der Geschwindigkeitsverteilung,
- v_25 - 25%-Perzentil der Geschwindigkeitsverteilung,

■ v_75 - 75%-Perzentil der Geschwindigkeitsverteilung,

■ v_90 - 90%-Perzentil der Geschwindigkeitsverteilung.

Tabelle 17: Reisegeschwindigkeiten

Verkehrssituation	Reisegeschwindigkeit in km/h					
	average	std_dev_v	v_10	v_25	v_75	v_90
Rural / Distributor-DistrictConnection / SpLimit:50 / Freeflow	48.95	9.82	37.74	45.99	54.53	59.10
Rural / Distributor-DistrictConnection(withCurves) / SpLimit:50 / SaturatedTraffic	22.04	20.47	0.00	0.00	40.32	50.99
Rural / Distributor-DistrictConnection(withCurves) / SpLimit:50 / Stop+Go	16.01	14.50	0.00	0.00	28.66	38.31
Rural / Distributor-DistrictConnection(withCurves) / SpLimit:60 / SaturatedTraffic	29.94	19.30	0.00	10.92	46.84	51.11
Rural / LocalCollector / SpLimit:60 / Freeflow	55.10	13.66	37.97	50.27	65.07	67.83
Rural / LocalCollector(withCurves) / SpLimit:60 / HeavyTraffic	36.18	16.41	8.56	26.81	48.86	53.15
Rural / Access-residential / SpLimit:50 / Freeflow	43.96	13.24	28.20	36.50	52.43	59.51
Urban / City-TrunkRoad / SpLimit:50 / HeavyTraffic	41.36	14.90	15.80	40.56	49.55	53.24
Urban / LocalCollector / SpLimit:60 / SaturatedTraffic	34.21	19.28	0.00	21.17	48.81	53.96

Tabelle 18: Fahrgeschwindigkeiten

Verkehrssituation	Fahrgeschwindigkeit in km/h					
	average	std_dev_v	v_10	v_25	v_75	v_90
Rural / Distributor-DistrictConnection / SpLimit:50 / Freeflow	48.95	9.82	37.74	45.99	54.53	59.10
Rural / Distributor-DistrictConnection(withCurves) / SpLimit:50 / SaturatedTraffic	34.20	15.30	11.06	22.67	46.45	53.87
Rural / Distributor-DistrictConnection(withCurves) / SpLimit:50 / Stop+Go	22.88	11.96	5.74	13.49	32.84	40.44
Rural / Distributor-DistrictConnection(withCurves) / SpLimit:60 / SaturatedTraffic	37.33	13.72	15.40	30.77	48.84	51.68
Rural / LocalCollector / SpLimit:60 / Freeflow	55.10	13.66	37.97	50.27	65.07	67.83
Rural / LocalCollector(withCurves) / SpLimit:60 / HeavyTraffic	39.45	12.82	20.18	31.37	49.26	53.37
Rural / Access-residential / SpLimit:50 / Freeflow	45.04	11.44	30.01	37.36	52.51	59.54
Urban / City-TrunkRoad / SpLimit:50 / HeavyTraffic	44.58	9.77	34.07	42.44	49.92	53.34
Urban / LocalCollector / SpLimit:60 / SaturatedTraffic	40.49	13.61	20.57	34.31	50.16	54.55

Tabelle 19: v*a

Verkehrssituation	v*a in m ² /s ³					
	average	std_dev_v	v*a_10	v*a_25	v*a_75	v*a_90
Rural / Distributor-DistrictConnection / SpLimit:50 / Freeflow	-0.07	3.85	-4.79	-1.95	2.04	4.15
Rural / Distributor-DistrictConnection(withCurves) / SpLimit:50 / SaturatedTraffic	-0.31	6.59	-7.83	-0.87	1.74	6.84
Rural / Distributor-DistrictConnection(withCurves) / SpLimit:50 / Stop+Go	-0.25	3.60	-4.18	-1.50	0.36	3.86
Rural / Distributor-DistrictConnection(withCurves) / SpLimit:60 / SaturatedTraffic	-0.22	5.07	-4.85	-1.37	1.96	5.43
Rural / LocalCollector / SpLimit:60 / Freeflow	-0.10	5.63	-6.66	-3.01	3.22	6.82
Rural / LocalCollector(withCurves) / SpLimit:60 / HeavyTraffic	-0.13	4.57	-4.37	-1.76	2.39	4.53
Rural / Access-residential / SpLimit:50 / Freeflow	-0.16	6.15	-6.31	-3.80	3.21	6.87
Urban / City-TrunkRoad / SpLimit:50 / HeavyTraffic	-0.20	6.59	-5.24	-3.11	2.73	5.84
Urban / LocalCollector / SpLimit:60 / SaturatedTraffic	-0.22	6.10	-5.33	-2.05	2.65	6.42

4.3.2.2 Lützner Straße in Leipzig

Auch bei der Lützner Straße in Leipzig handelt es sich um eine Bundesstraße mit Tempolimit 50 km/h, die wie die Bergstraße in Dresden dem Straßentyp Agglomeration, Hauptverkehrsstraße zugeordnet würde. Die entsprechenden Zyklenkennwerte sind bereits in Tabelle 15 dargestellt.

Ähnlich wie in Dresden auf der Bergstraße wurden auch auf der Lützner Straße in Leipzig Fahrverhaltensmessungen für vier verschiedene Streckenabschnitte je Richtungsfahrbahn durchgeführt. Hier ergaben sich jedoch Abhängigkeiten von der Tageszeit, sodass insgesamt 22 verschiedene Zyklentypen gefunden wurden.

Konnte in der Bergstraße in Dresden wenigstens noch die Hälfte der gemessenen Fahrzyklen den Verkehrszuständen des Straßentyps Agglomeration, Hauptverkehrsstraße zugeordnet werden, so ist das Ergebnis für die Lützner Straße deutlich schlechter. Nur sieben der 22 Zyklentypen können dem Straßentyp Agglomeration, Hauptverkehrsstraße zugeordnet werden, ausnahmslos stop & go-Zustände. Die geringe Zuordnungsrates liegt vor allem daran, dass in der Lützner Straße zwei völlig konträre und extreme Fahrzyklen häufig vorkommen, die im Handbuch nicht vorgesehen sind. Dies ist zum einen stop & go mit

sehr hohen Stillstandsanteilen und im Gegensatz dazu sehr gleichmäßiger Fahrverlauf auf niedrigem Geschwindigkeitsniveau ohne Stillstand, ein Fahrzyklentyp, der eher für Erschließungsstraßen mit Tempolimit unter 50 km/h typisch ist.

Die folgenden Tabellen sind aus dem Bericht der TU Dresden entlehnt und enthalten die Kennwerte der 22 verschiedenen Zyklentypen sowie ihre Zuordnung zu Streckenabschnitten, Fahrrichtungen und Tageszeiten. Die Abkürzungen für die Bezeichnungen der Verkehrssituationen sind im Anlagenband im Kapitel 2 erläutert.

- Lützner Straße Abschnitt 1 Richtung I, zwischen Zschocherscher Straße und Birkenstraße (auswärts), Zeit von 15:00 Uhr bis 19:00 Uhr

Verkehrssituation HBEFA 3.1: URB/Access/40/Freeflow

Tabelle 20: Abschnitt 1 Richtung I (auswärts), Zeit von 15:00 Uhr bis 19:00 Uhr

	v_{Reise} (km/h)	v_{Fahr} (km/h)	$v \times a$ (m^2/s^3)	
Mittelwert	36,82	36,82	-0,42	Konstantfahrt / %
Standardabw.	4,94	4,94	3,19	68,42
Q10	31,20	31,20	-3,93	
Q25	33,40	33,40	-2,43	Standanteil / %
Q75	39,40	39,40	2,03	0,00
Q90	44,54	44,54	3,44	

- Lützner Straße Abschnitt 1 Richtung I, zwischen Zschocherscher Straße und Birkenstraße (auswärts), Zeit von 19:00 Uhr bis 15:00 Uhr

Verkehrssituation HBEFA 3.1: RUR/Access/40/Freeflow

Tabelle 21: Abschnitt 1 Richtung I (auswärts), Zeit von 19:00 Uhr bis 15:00 Uhr

	v_{Reise} (km/h)	v_{Fahr} (km/h)	$v \times a$ (m^2/s^3)	
Mittelwert	40,56	40,56	1,33	Konstantfahrt / %
Standardabw.	5,43	5,43	3,60	62,22
Q10	33,70	33,70	-3,20	
Q25	37,10	37,10	-1,01	Standanteil / %
Q75	44,50	44,50	3,45	0,00
Q90	46,90	46,90	6,08	

- Lützner Straße Abschnitt 2 Richtung I, zwischen Birkenstraße und Odermannstraße (auswärts), Zeit von 15:00 Uhr bis 19:00 Uhr

Verkehrssituation HBEFA 3.1: URB/Distr/70/St+Go

Tabelle 22: Abschnitt 2 Richtung I (auswärts), Zeit von 15:00 Uhr bis 19:00 Uhr

	v_{Reise} (km/h)	v_{Fahr} (km/h)	$v \times a$ (m^2/s^3)	
Mittelwert	17,98	24,72	-0,68	Konstantfahrt / %
Standardabw.	14,89	11,87	4,33	21,24
Q10	0,00	9,90	-5,08	
Q25	1,80	14,55	-1,92	Standanteil / %
Q75	31,83	35,30	1,23	28,10
Q90	39,40	40,60	4,18	

- Lützner Straße Abschnitt 2 Richtung I, zwischen Birkenstraße und Odermannstraße (auswärts), Zeit von 19:00 Uhr bis 15:00 Uhr

Verkehrssituation HBEFA 3.1: RUR/Access/40/Freeflow

Tabelle 23: Abschnitt 2 Richtung I (auswärts), Zeit von 19:00 Uhr bis 15:00 Uhr

	v_{Reise} (km/h)	v_{Fahr} (km/h)	$v \times a$ (m^2/s^3)	
Mittelwert	38,91	39,08	-1,05	Konstantfahrt / %
Standardabw.	10,02	9,72	3,77	69,23
Q10	25,66	27,00	-5,11	
Q25	37,30	37,40	-2,65	Standanteil / %
Q75	44,50	44,50	1,13	0,45
Q90	47,30	47,30	2,77	

- Lützner Straße Abschnitt 3 Richtung I, zwischen Odermannstraße und Merseburger Straße (auswärts)

Verkehrssituation HBEFA 3.1: URB/Distr/70/St+Go

Tabelle 24: Abschnitt 3 Richtung I, (auswärts)

	v_{Reise} (km/h)	v_{Fahr} (km/h)	$v \times a$ (m^2/s^3)	
Mittelwert	14,69	26,26	-0,19	Konstantfahrt / %
Standardabw.	15,87	12,25	4,20	13,29
Q10	0,00	7,33	-4,49	
Q25	0,00	16,20	-0,60	
Q75	29,40	36,05	0,61	Standanteil / %
Q90	38,70	41,59	4,42	45,22

■ Lützner Straße Abschnitt 4 Richtung I, zwischen Merseburger Straße und Cranachstraße (auswärts)

Verkehrssituation HBEFA 3.1: RUR/Access/40/Freeflow

Tabelle 25: Abschnitt 4 Richtung I (auswärts)

	v_{Reise} (km/h)	v_{Fahr} (km/h)	$v \times a$ (m^2/s^3)	
Mittelwert	40,44	40,44	1,03	Konstantfahrt / %
Standardabw.	7,12	7,12	3,48	70,00
Q10	32,62	32,62	-2,37	
Q25	36,90	36,90	-0,73	
Q75	45,60	45,60	2,76	Standanteil / %
Q90	48,14	48,14	5,27	0,00

■ Lützner Straße Abschnitt 1 Richtung II, zwischen Birkenstraße und Zschocherscher Straße (einwärts), Zeit von 01:00 Uhr bis 04:00 Uhr

Verkehrssituation: HVS2, HBEFA 3.1: RUR/Access/50/Freeflow

Tabelle 26: Abschnitt 1 Richtung II (einwärts), Zeit von 01:00 Uhr bis 04:00 Uhr

	v_{Reise} (km/h)	v_{Fahr} (km/h)	$v \times a$ (m^2/s^3)	
Mittelwert	44,36	44,36	0,10	Konstantfahrt / %
Standardabw.	3,21	3,21	3,61	71,43
Q10	40,36	40,36	-4,34	
Q25	41,80	41,80	-1,97	
Q75	46,70	46,70	1,83	Standanteil / %
Q90	48,54	48,54	4,70	0,00

■ Lützner Straße Abschnitt 1 Richtung II, zwischen Birkenstraße und Zschocherscher Straße (einwärts), Zeit von 06:00 Uhr bis 09:00 Uhr

Verkehrssituation HBEFA 3.1: URB/Distr/50/St+Go

Tabelle 27: Abschnitt 1 Richtung II (einwärts), Zeit von 06:00 Uhr bis 09:00 Uhr

	v_{Reise} (km/h)	v_{Fahr} (km/h)	$v \times a$ (m^2/s^3)	
Mittelwert	8,76	22,90	-0,25	Konstantfahrt / %
Standardabw.	13,27	11,82	3,79	7,05
Q10	0,00	8,11	-2,04	
Q25	0,00	15,30	0,00	
Q75	17,20	31,40	0,00	Standanteil / %
Q90	30,32	42,47	3,04	62,56

- Lütznert Straße Abschnitt 1 Richtung II, zwischen Birkenstraße und Zschocherscher Straße (einwärts), Zeit von 15:00 Uhr bis 19:00 Uhr

Verkehrssituation HBEFA 3.1: URB/Distr/50/St+Go

Tabelle 28: Abschnitt 1 Richtung II (einwärts), Zeit von 15:00 Uhr bis 19:00 Uhr

	v_{Reise} (km/h)	v_{Fahr} (km/h)	$v \times a$ (m^2/s^3)	
Mittelwert	10,20	27,95	-0,63	Konstantfahrt / %
Standardabw.	15,59	13,26	4,01	10,58
Q10	0,00	9,26	-3,35	
Q25	0,00	18,60	0,00	
Q75	20,45	40,23	0,00	Standanteil / %
Q90	35,26	47,60	2,20	64,60

- Lütznert Straße Abschnitt 1 Richtung II, zwischen Birkenstraße und Zschocherscher Straße (einwärts), Zeit von 04:00 Uhr bis 06:00 Uhr, und von 09:00 Uhr bis 15:00 Uhr, und von 19:00 Uhr bis 01:00 Uhr

Verkehrssituation HBEFA 3.1: RUR/Distr-sin./50/Satur

Tabelle 29: Abschnitt 1 Richtung II (einwärts), Zeit von 04:00 Uhr bis 06:00 Uhr, und von 09:00 Uhr bis 15:00 Uhr, und von 19:00 Uhr bis 01:00 Uhr

	v_{Reise} (km/h)	v_{Fahr} (km/h)	$v \times a$ (m^2/s^3)	
Mittelwert	22,93	32,93	-0,76	Konstantfahrt / %
Standardabw.	17,85	11,37	4,83	28,41
Q10	0,00	15,24	-6,38	
Q25	0,00	25,00	-1,99	
Q75	39,65	41,25	1,18	Standanteil / %
Q90	43,02	45,30	4,50	31,30

- Lütznert Straße Abschnitt 2 Richtung II, zwischen Odermann und Birkenstraße (einwärts), Zeit von 01:00 Uhr bis 04:00 Uhr

Verkehrssituation HBEFA 3.1: RUR/Access/50/Freeflow

Tabelle 30: Abschnitt 2 Richtung II, (einwärts) Zeit von 01:00 Uhr bis 04:00 Uhr

	v_{Reise} (km/h)	v_{Fahr} (km/h)	$v \times a$ (m^2/s^3)	
Mittelwert	44,28	44,28	0,84	Konstantfahrt / %
Standardabw.	2,05	2,05	2,23	89,74
Q10	42,20	42,20	-1,14	
Q25	42,90	42,90	-0,54	
Q75	46,00	46,00	2,35	Standanteil / %
Q90	46,40	46,40	3,14	0,00

■ Lützner Straße Abschnitt 2 Richtung II, zwischen Odermann und Birkenstraße (einwärts), Zeit von 06:00 Uhr bis 09:00 Uhr

Verkehrssituation HBEFA 3.1: URB/Access/50/Satur

Tabelle 31: Abschnitt 2 Richtung II (einwärts), Zeit von 06:00 Uhr bis 09:00 Uhr

	v_{Reise} (km/h)	v_{Fahr} (km/h)	$v \times a$ (m^2/s^3)	
Mittelwert	26,86	31,68	0,27	Konstantfahrt / %
Standardabw.	17,06	13,82	2,78	50,22
Q10	0,00	15,30	-2,97	
Q25	15,60	18,50	-1,00	
Q75	43,05	44,70	1,76	Standanteil / %
Q90	47,80	48,10	4,01	15,72

■ Lützner Straße Abschnitt 2 Richtung II, zwischen Odermann und Birkenstraße (einwärts), Zeit von 15:00 Uhr bis 19:00 Uhr

Verkehrssituation HBEFA 3.1: RUR/Local-sin./50/Heavy

Tabelle 32: Abschnitt 2 Richtung II (einwärts), Zeit von 15:00 Uhr bis 19:00 Uhr

	v_{Reise} (km/h)	v_{Fahr} (km/h)	$v \times a$ (m^2/s^3)	
Mittelwert	30,98	35,04	0,37	Konstantfahrt / %
Standardabw.	16,15	12,37	3,20	47,50
Q10	0,00	15,24	-3,10	
Q25	19,40	26,80	-1,11	
Q75	44,10	45,15	2,47	Standanteil / %
Q90	46,94	47,20	4,24	12,00

■ Lützner Straße Abschnitt 2 Richtung II, zwischen Birkenstraße und Zschocherscher Straße (einwärts), Zeit von 04:00 Uhr bis 06:00 Uhr, und von 09:00 Uhr bis 15:00 Uhr, und von 19:00 Uhr bis 01:00 Uhr

Verkehrssituation HBEFA 3.1: RUR/Access/50/Freeflow

Tabelle 33: Abschnitt 2 Richtung II (einwärts), Zeit von 04:00 Uhr bis 06:00 Uhr, und von 09:00 Uhr bis 15:00 Uhr, und von 19:00 Uhr bis 01:00 Uhr

	v_{Reise} (km/h)	v_{Fahr} (km/h)	$v \times a$ (m^2/s^3)	
Mittelwert	42,51	42,51	0,60	Konstantfahrt / %
Standardabw.	4,28	4,28	2,71	79,02
Q10	36,84	36,84	-2,69	
Q25	38,20	38,20	-1,15	
Q75	46,20	46,20	2,45	Standanteil / %
Q90	47,30	47,30	3,74	0,00

- Lützner Straße Abschnitt 3 Richtung II, zwischen Merseburger Straße und Odermannstraße (einwärts), Zeit von 01:00 Uhr bis 04:00 Uhr

Verkehrssituation HBEFA 3.1: URB/Access/40/Freeflow

Tabelle 34: Abschnitt 3 Richtung II (einwärts), Zeit von 01:00 Uhr bis 04:00 Uhr

	v_{Reise} (km/h)	v_{Fahr} (km/h)	$v \times a$ (m^2/s^3)	
Mittelwert	36,72	36,72	0,91	Konstantfahrt / %
Standardabw.	3,62	3,62	3,45	65,00
Q10	33,33	33,33	-3,18	
Q25	34,03	34,03	-1,72	
Q75	39,33	39,33	3,13	Standanteil / %
Q90	42,77	42,77	6,15	0,00

- Lützner Straße Abschnitt 3 Richtung II, zwischen Merseburger Straße und Odermannstraße (einwärts), Zeit von 06:00 Uhr bis 09:00 Uhr

Verkehrssituation HBEFA 3.1: URB/Access/30/Freeflow

Tabelle 35: Abschnitt 3 Richtung II (einwärts), Zeit von 06:00 Uhr bis 09:00 Uhr

	v_{Reise} (km/h)	v_{Fahr} (km/h)	$v \times a$ (m^2/s^3)	
Mittelwert	30,66	30,66	0,48	Konstantfahrt / %
Standardabw.	11,70	11,70	3,72	49,69
Q10	9,40	9,40	-4,22	
Q25	24,75	24,75	-1,66	
Q75	39,70	39,70	3,09	Standanteil / %
Q90	43,73	43,73	5,67	0,00

- Lützner Straße Abschnitt 3 Richtung II, zwischen Merseburger Straße und Odermannstraße (einwärts), Zeit von 15:00 Uhr bis 19:00 Uhr

Verkehrssituation HBEFA 3.1: RUR/Access/30/Freeflow

Tabelle 36: Abschnitt 3 Richtung II (einwärts), Zeit von 15:00 Uhr bis 19:00 Uhr

	v_{Reise} (km/h)	v_{Fahr} (km/h)	$v \times a$ (m^2/s^3)	
Mittelwert	33,59	33,59	0,66	Konstantfahrt / %
Standardabw.	6,30	6,30	2,90	64,86
Q10	25,90	25,90	-3,11	
Q25	28,55	28,55	-1,04	
Q75	39,25	39,25	2,54	Standanteil / %
Q90	41,60	41,60	4,61	0,00

- Lützner Straße Abschnitt 3 Richtung II, zwischen Merseburger Straße und Odermannstraße (einwärts), Zeit von 04:00 Uhr bis 06:00 Uhr, und von 09:00 Uhr bis 15:00 Uhr und von 19:00 Uhr bis 01:00 Uhr

Verkehrssituation HBEFA 3.1: URB/Access/40/Freeflow

Tabelle 37: Abschnitt 3 Richtung II (einwärts), Zeit von 04:00 Uhr bis 06:00 Uhr, und von 09:00 Uhr bis 15:00 Uhr und von 19:00 Uhr bis 01:00 Uhr

	v_{Reise} (km/h)	v_{Fahr} (km/h)	$v \times a$ (m^2/s^3)	
Mittelwert	37,54	37,54	0,89	Konstantfahrt / %
Standardabw.	5,61	5,61	3,15	71,28
Q10	30,00	30,00	-2,22	
Q25	32,40	32,40	-1,27	
Q75	42,75	42,75	2,87	Standanteil / %
Q90	43,80	43,80	5,25	0,00

- Lützner Straße Abschnitt 4 Richtung II, zwischen Cranachstraße und Merseburger Straße (einwärts), Zeit von 01:00 Uhr bis 04:00 Uhr

Verkehrssituation HBEFA 3.1: RUR/Distr/50/Freeflow

Tabelle 38: Abschnitt 4 Richtung II (einwärts), Zeit von 01:00 Uhr bis 04:00 Uhr

	v_{Reise} (km/h)	v_{Fahr} (km/h)	$v \times a$ (m^2/s^3)	
Mittelwert	45,97	45,97	0,56	Konstantfahrt / %
Standardabw.	0,62	0,62	1,20	100,00
Q10	45,40	45,40	-0,74	
Q25	45,65	45,65	0,00	
Q75	46,00	46,00	1,36	Standanteil / %
Q90	46,84	46,84	2,01	0,00

- Lützner Straße Abschnitt 4 Richtung II zwischen Cranachstraße und Merseburger Straße (einwärts), Zeit von 06:00 Uhr bis 09:00 Uhr

Verkehrssituation HBEFA 3.1: URB/Distr/50/St+Go

Tabelle 39: Abschnitt 4 Richtung II (einwärts), Zeit von 06:00 Uhr bis 09:00 Uhr

	v_{Reise} (km/h)	v_{Fahr} (km/h)	$v \times a$ (m^2/s^3)	
Mittelwert	9,97	26,67	-0,53	Konstantfahrt / %
Standardabw.	15,15	13,20	3,89	6,21
Q10	0,00	8,15	-4,92	
Q25	0,00	16,05	0,00	
Q75	20,00	40,10	0,00	Standanteil / %
Q90	38,92	44,00	2,43	63,81

- Lützner Straße Abschnitt 4 Richtung II, zwischen Cranachstraße und Merseburger Straße (einwärts), Zeit von 15:00 Uhr bis 19:00 Uhr

Verkehrssituation HBEFA 3.1: URB/Distr/50/St+Go

Tabelle 40: Abschnitt 4 Richtung II (einwärts), Zeit von 15:00 Uhr bis 19:00 Uhr

	v_{Reise} (km/h)	v_{Fahr} (km/h)	$v \times a$ (m^2/s^3)	
Mittelwert	9,37	26,37	-0,64	Konstantfahrt / %
Standardabw.	14,69	12,77	3,54	8,09
Q10	0,00	8,92	-3,69	
Q25	0,00	15,45	0,00	
Q75	17,50	36,60	0,00	Standanteil / %
Q90	35,12	44,18	1,88	65,68

- Lützner Straße Abschnitt 4 Richtung II, zwischen Cranachstraße und Merseburger Straße (einwärts), Zeit von 04:00 Uhr bis 06:00 Uhr, und von 09:00 Uhr bis 15:00 Uhr und von 19:00 Uhr bis 01:00 Uhr

Verkehrssituation HBEFA 3.1: URB/Distr/50/St+Go

Tabelle 41: Abschnitt 4 Richtung II (einwärts), Zeit von 04:00 Uhr bis 06:00 Uhr, und von 09:00 Uhr bis 15:00 Uhr und von 19:00 Uhr bis 01:00 Uhr

	v_{Reise} (km/h)	v_{Fahr} (km/h)	$v \times a$ (m^2/s^3)	
Mittelwert	10,07	22,78	-0,60	Konstantfahrt / %
Standardabw.	14,11	12,82	3,77	10,68
Q10	0,00	5,10	-4,26	
Q25	0,00	11,83	0,00	
Q75	19,78	32,73	0,00	Standanteil / %
Q90	33,63	40,40	2,41	56,96

Die folgenden Tabellen zeigen die Kennwerte für die o. g. Verkehrssituationen. Die durch Messungen mit einem Pkw gewonnenen Kennwerte sind in TU DRESDEN (2006B) angegeben.

Es bedeuten:

- Reisegeschwindigkeit – Durchschnittsgeschwindigkeit einschließlich Stillstandsanteile,
- Fahrgeschwindigkeit – Durchschnittsgeschwindigkeit ohne Stillstandsanteile,
- Average – Durchschnitt,
- Std_dev_v – Standardabweichung der Geschwindigkeit,
- v_10 - 10%-Perzentil der Geschwindigkeitsverteilung,
- v_25 - 25%-Perzentil der Geschwindigkeitsverteilung,
- v_75 - 75%-Perzentil der Geschwindigkeitsverteilung,
- v_90 - 90%-Perzentil der Geschwindigkeitsverteilung.

Tabelle 42: Reisegeschwindigkeiten

Verkehrssituation	Reisegeschwindigkeit in km/h					
	average	std_dev_v	v_10	v_25	v_75	v_90
Rural / Distributor-DistrictConnection / SpLimit:50 / Freeflow	48.95	9.82	37.74	45.99	54.53	59.10
Rural / Distributor-DistrictConnection(withCurves) / SpLimit:50 / SaturatedTraffic	22.04	20.47	0.00	0.00	40.32	50.99
Rural / LocalCollector(withCurves) / SpLimit:50 / HeavyTraffic	30.64	16.64	0.14	17.54	44.10	46.55
Rural / Access-residential / SpLimit:30 / Freeflow	33.62	14.48	12.93	22.00	46.61	50.04
Rural / Access-residential / SpLimit:40 / Freeflow	38.45	15.62	16.26	28.93	49.79	58.06
Rural / Access-residential / SpLimit:50 / Freeflow	43.96	13.24	28.20	36.50	52.43	59.51
Urban / Distributor-DistrictConnection / SpLimit:50 / Stop+Go	12.77	10.40	0.00	0.00	20.36	26.68
Urban / Distributor-DistrictConnection / SpLimit:70 / Stop+Go	16.01	14.50	0.00	0.00	28.66	38.31
Urban / Access-residential / SpLimit:30 / Freeflow	30.88	10.39	18.94	26.21	38.67	40.57
Urban / Access-residential / SpLimit:40 / Freeflow	36.79	13.98	19.11	30.60	46.40	52.33
Urban / Access-residential / SpLimit:50 / SaturatedTraffic	27.00	18.66	0.00	9.71	42.74	51.80

Tabelle 43: Fahrgeschwindigkeiten

Verkehrssituation	Fahrgeschwindigkeit in km/h					
	average	std_dev_v	v_10	v_25	v_75	v_90
Rural / Distributor-DistrictConnection / SpLimit:50 / Freeflow	48.95	9.82	37.74	45.99	54.53	59.10
Rural / Distributor-DistrictConnection(withCurves) / SpLimit:50 / SaturatedTraffic	34.20	15.30	11.06	22.67	46.45	53.87
Rural / LocalCollector(withCurves) / SpLimit:50 / HeavyTraffic	34.74	13.10	14.45	24.87	44.53	46.80
Rural / Access-residential / SpLimit:30 / Freeflow	34.48	13.61	13.56	23.23	46.77	50.09
Rural / Access-residential / SpLimit:40 / Freeflow	39.37	14.62	18.48	30.01	50.31	58.25
Rural / Access-residential / SpLimit:50 / Freeflow	45.04	11.44	30.01	37.36	52.51	59.54
Urban / Distributor-DistrictConnection / SpLimit:50 / Stop+Go	17.62	7.99	7.02	11.93	23.17	28.78
Urban / Distributor-DistrictConnection / SpLimit:70 / Stop+Go	22.88	11.96	5.74	13.49	32.84	40.44
Urban / Access-residential / SpLimit:30 / Freeflow	32.04	8.64	20.42	27.68	38.74	40.72
Urban / Access-residential / SpLimit:40 / Freeflow	38.36	11.97	20.33	32.86	46.47	52.56
Urban / Access-residential / SpLimit:50 / SaturatedTraffic	31.88	16.00	8.54	16.47	44.58	52.57

Tabelle 44: v*a

Verkehrssituation	v*a in m²/s³					
	average	std_dev_v	v*a_10	v*a_25	v*a_75	v*a_90
Rural / Distributor-DistrictConnection / SpLimit:50 / Freeflow	-0.07	3.85	-4.79	-1.95	2.04	4.15
Rural / Distributor-DistrictConnection(withCurves) / SpLimit:50 / SaturatedTraffic	-0.31	6.59	-7.83	-0.87	1.74	6.84
Rural / LocalCollector(withCurves) / SpLimit:50 / HeavyTraffic	-0.18	4.26	-4.96	-1.25	2.03	4.50
Rural / Access-residential / SpLimit:30 / Freeflow	-0.10	3.82	-4.24	-1.65	1.77	3.95
Rural / Access-residential / SpLimit:40 / Freeflow	-0.20	5.72	-7.31	-3.16	3.16	6.53
Rural / Access-residential / SpLimit:50 / Freeflow	-0.16	6.15	-6.31	-3.80	3.21	6.87
Urban / Distributor-DistrictConnection / SpLimit:50 / Stop+Go	-0.19	3.06	-4.22	-1.44	1.06	3.42
Urban / Distributor-DistrictConnection / SpLimit:70 / Stop+Go	-0.25	3.60	-4.18	-1.50	0.36	3.86
Urban / Access-residential / SpLimit:30 / Freeflow	-0.35	6.50	-7.67	-3.17	3.39	7.24
Urban / Access-residential / SpLimit:40 / Freeflow	-0.19	5.75	-5.83	-2.57	3.78	5.81
Urban / Access-residential / SpLimit:50 / SaturatedTraffic	-0.16	4.33	-4.86	-1.01	1.40	4.23

Verbleibendes Problem: Für die Stausituationen mit sehr niedrigen Durchschnittsgeschwindigkeiten gibt es im HBEFA 3.1 keine Zyklen mehr. Dies betrifft die

- Lützner Straße Abschnitt 1 Richtung II zwischen Birkenstraße und Zschocherscher Straße (einwärts), Zeit von 06:00 Uhr bis 09:00 Uhr,
- Lützner Straße Abschnitt 1 Richtung II zwischen Birkenstraße und Zschocherscher Straße (einwärts), Zeit von 15:00 Uhr bis 19:00 Uhr,
- Lützner Straße Abschnitt 4 Richtung II zwischen Cranachstraße und Merseburger Straße (einwärts), Zeit von 06:00 Uhr bis 09:00 Uhr,
- Lützner Straße Abschnitt 4 Richtung II zwischen Cranachstraße und Merseburger Straße (einwärts), Zeit von 15:00 Uhr bis 19:00 Uhr,
- Lützner Straße Abschnitt 4 Richtung II zwischen Cranachstraße und Merseburger Straße (einwärts), Zeit von 04:00 Uhr bis 06:00 Uhr, und von 09:00 Uhr bis 15:00 Uhr, und von 19:00 Uhr bis 01:00 Uhr.

Für diese Straßen- und Zeitabschnitte betragen die Durchschnittsgeschwindigkeiten (Reisegeschwindigkeiten) 8.8 km/h bis 10 km/h. Die stop & go Verkehrssituation mit der niedrigsten Durchschnittsgeschwindigkeit des Handbuchs Version 3.1 weist einen Wert von 12.8 km/h auf. Die Unterschiede in der Emission können hier bis zu 40 % betragen. Dies lässt sich z. B. aus Abbildung 67 bis Abbildung 69 ableiten, wenn man die dort dargestellten Kurven zu noch kleineren Geschwindigkeiten extrapoliert.

4.4 Transitverkehr von schweren Nutzfahrzeugen

Ein weiterer Diskussionspunkt ist die Frage des Transitverkehrs von ausländischen schweren Nutzfahrzeugen. Nach ILLGEN, P. & W. SCHMIDT (2006) ist deren Anteil in Sachsen mit knapp 20 % etwa doppelt so hoch wie der Bundesdurchschnitt, wobei die Anteile ausländischer schwerer Nutzfahrzeuge regional zwischen 15 % und 60 % variieren können (siehe ILLGEN, P. & W. SCHMIDT (2006); Tabelle A 6-1). Dies ist insofern von Bedeutung, als im allgemeinen angenommen wird, dass die ausländischen Fahrzeuge älter als inländische sind und damit höhere Emissionen aufweisen. Dies mag bei kleineren Lkw durchaus noch der Fall sein, es ist jedoch fraglich, ob das für Fernverkehrs-, Last- und –Sattelzüge auch gültig ist.

Bei der Berechnung der Emissionen könnte der Einfluss der ausländischen Fahrzeuge dadurch berücksichtigt werden, dass die Flottenzusammensetzung der schweren Nutzfahrzeuge dahingehend modifiziert wird, dass für den ausländischen Anteil die Zusammensetzung nach Emissionsstufen (vor EURO I bis EURO VI) gegenüber der Zusammensetzung der inländischen Fahrzeuge „gealtert“ wird.

Zur besseren Einschätzung der Auswirkungen der Flottenzusammensetzungen sind in Abbildung 64 bis Abbildung 66 die Wichtungen aus dem HBEFA 3.1 für kleine, mittlere und schwere Lkw für den Innerortsbereich angegeben. In Abbildung 67 bis Abbildung 69 sind beispielhaft die NO_x-Emissionen für alle neuen Verkehrssituationen für Lkw mit zul. Gesamtmasse bis 7.500 kg, zwischen 14.000 kg und 20.000 kg und zwischen 34.000 kg und 40.000 kg angegeben. Die Zusammensetzung nach Emissionsstufen hängt deutlich von der Fahrzeuggröße ab, bei den NO_x-Emissionen wird deutlich, dass das Verhältnis SCR/EGR mindestens so bedeutend ist wie die Frage des Anteils ausländischer Fahrzeuge. Für die anderen Gesamtgewichtsklassen ergeben sich ähnliche Zusammenhänge.

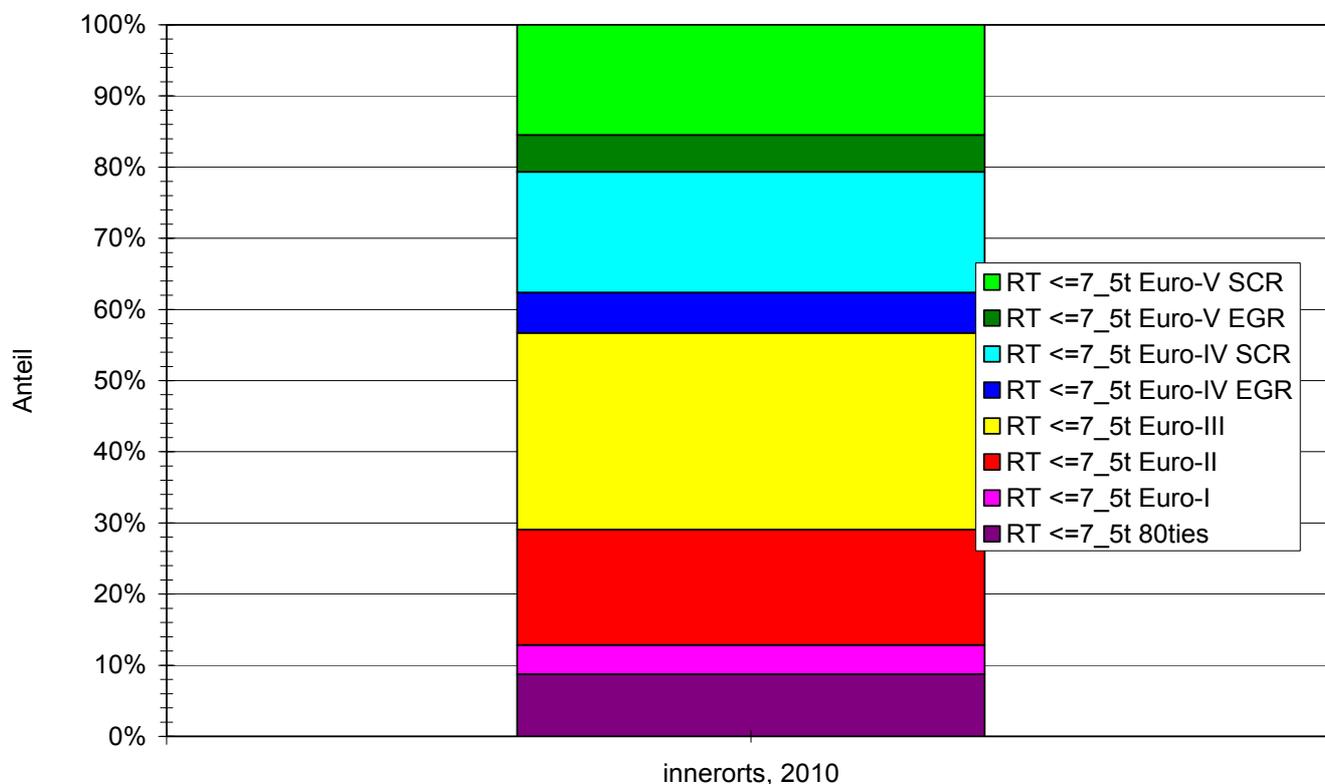


Abbildung 64: Zusammensetzung der Lkw bis 7.5 t zul. Gesamtmasse nach Emissionsstufen (basierend auf Fahrleistungen)

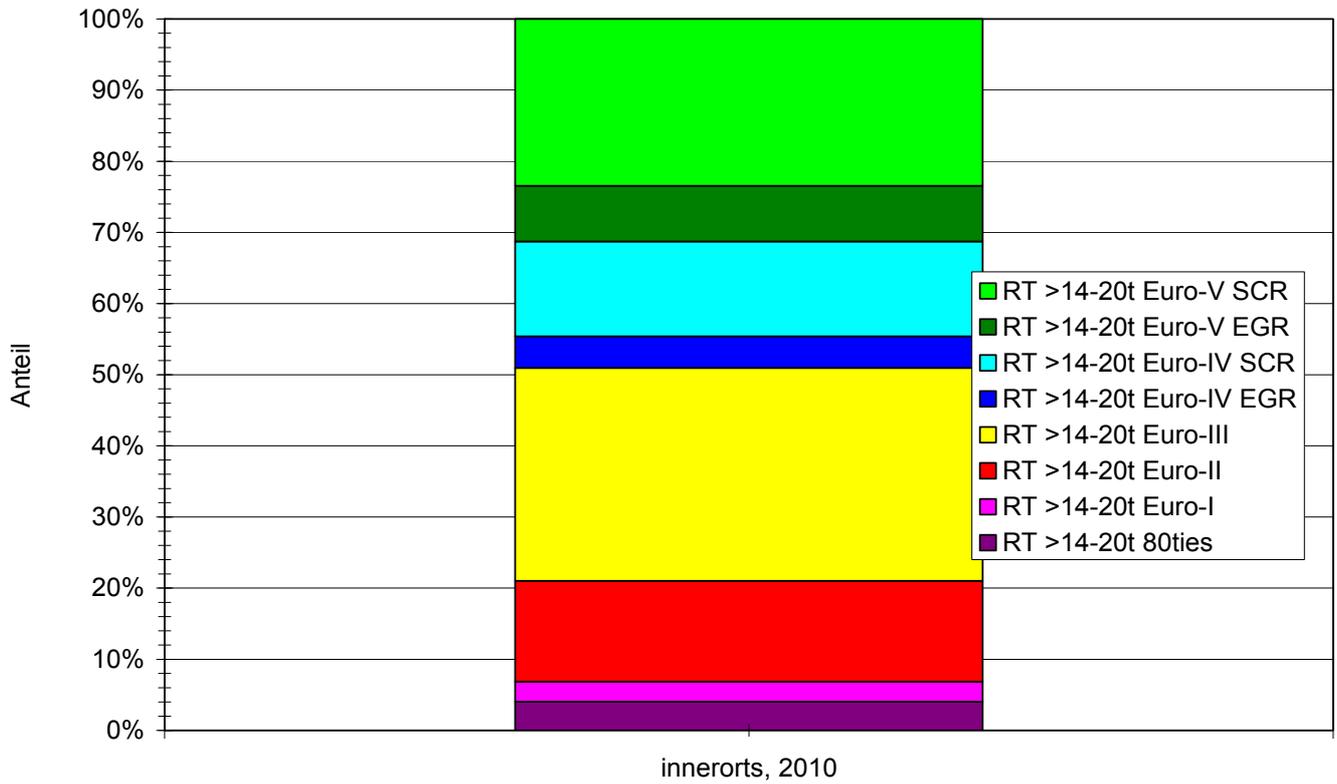


Abbildung 65: Zusammensetzung der Lkw von 14 t bis 20 t zul. Gesamtmasse nach Emissionsstufen (basierend auf Fahrleistungen)

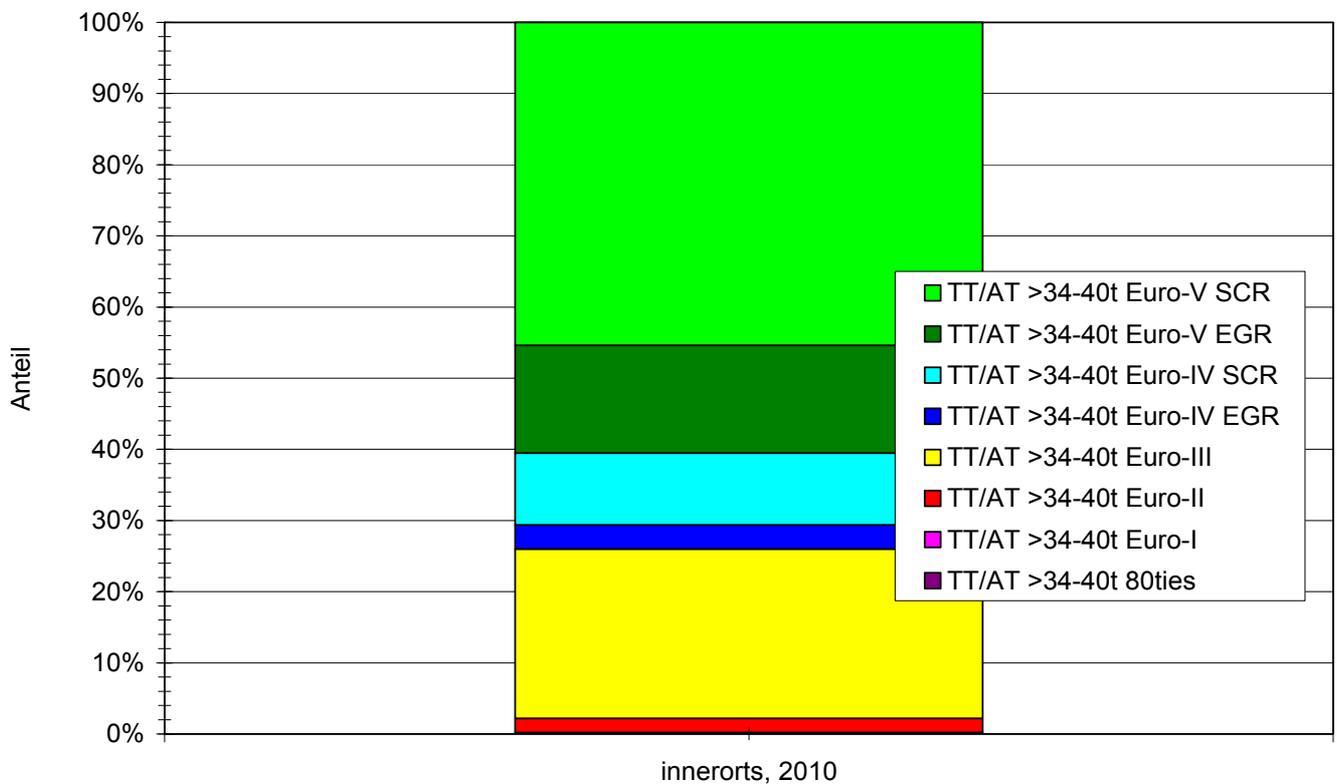


Abbildung 66: Zusammensetzung der Last- und Sattelzüge von 34 t bis 40 t zul. Gesamtmasse nach Emissionsstufen (basierend auf Fahrleistungen)

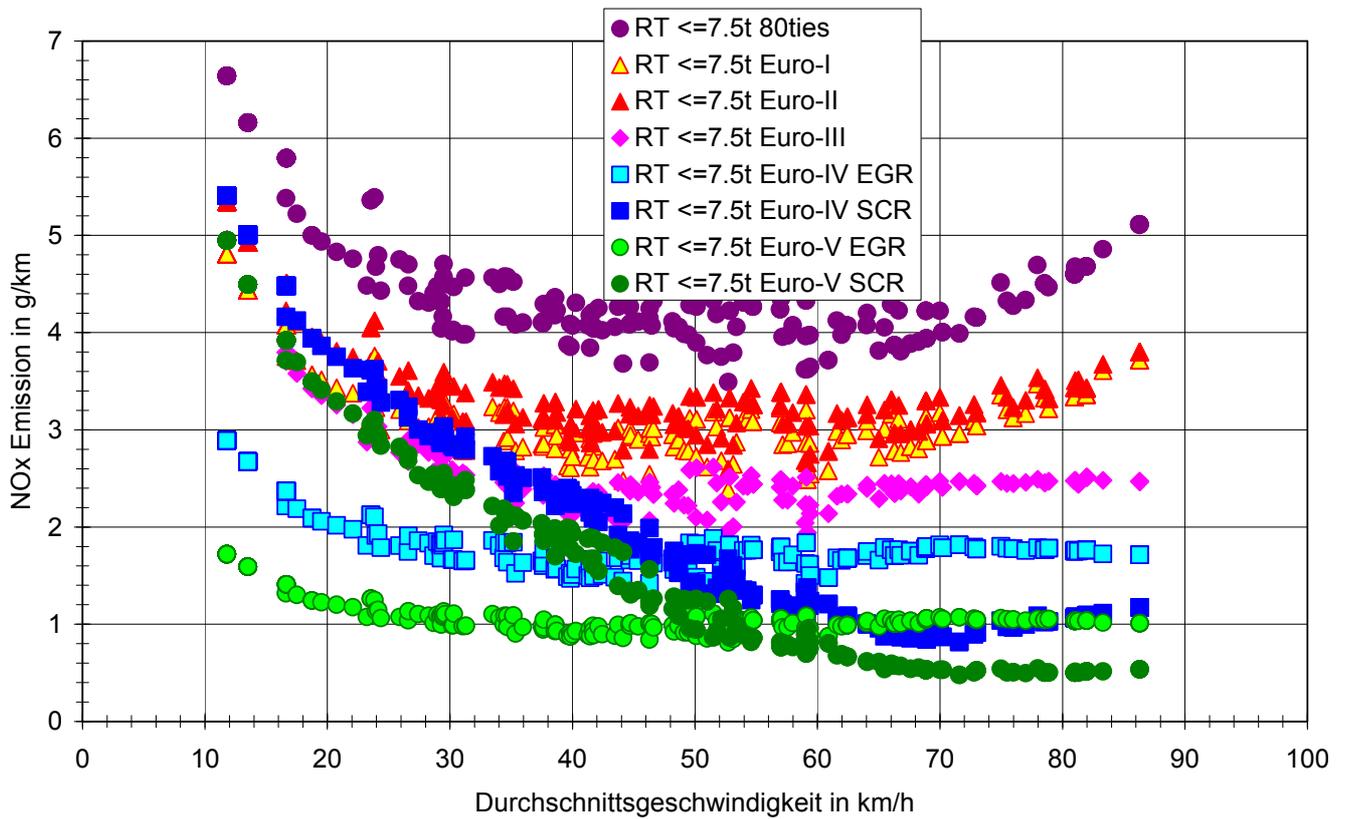


Abbildung 67: NO_x-Emissionen der Lkw bis 7.5 t zul. Gesamtmasse nach Emissionsstufen

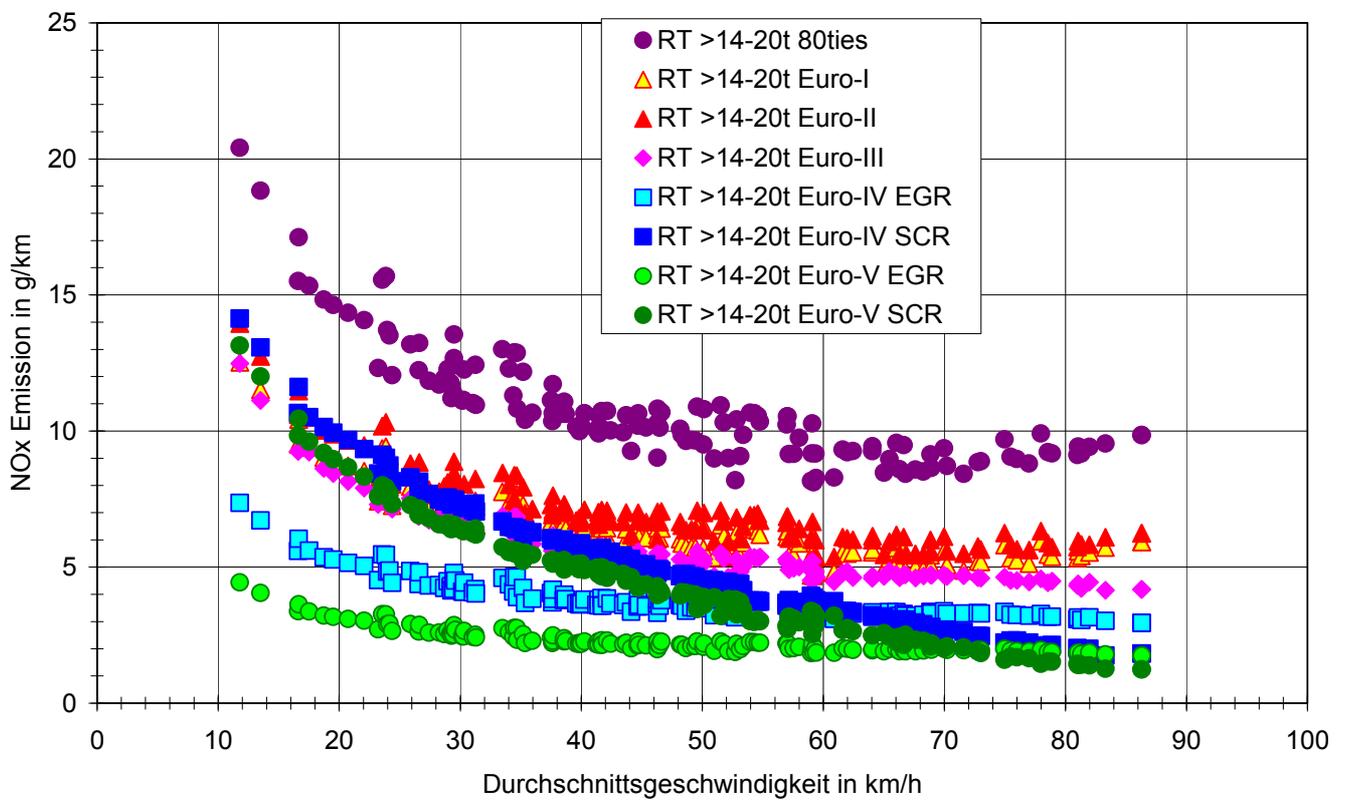


Abbildung 68: NO_x-Emissionen der Lkw von 14 t bis 20 t zul. Gesamtmasse nach Emissionsstufen

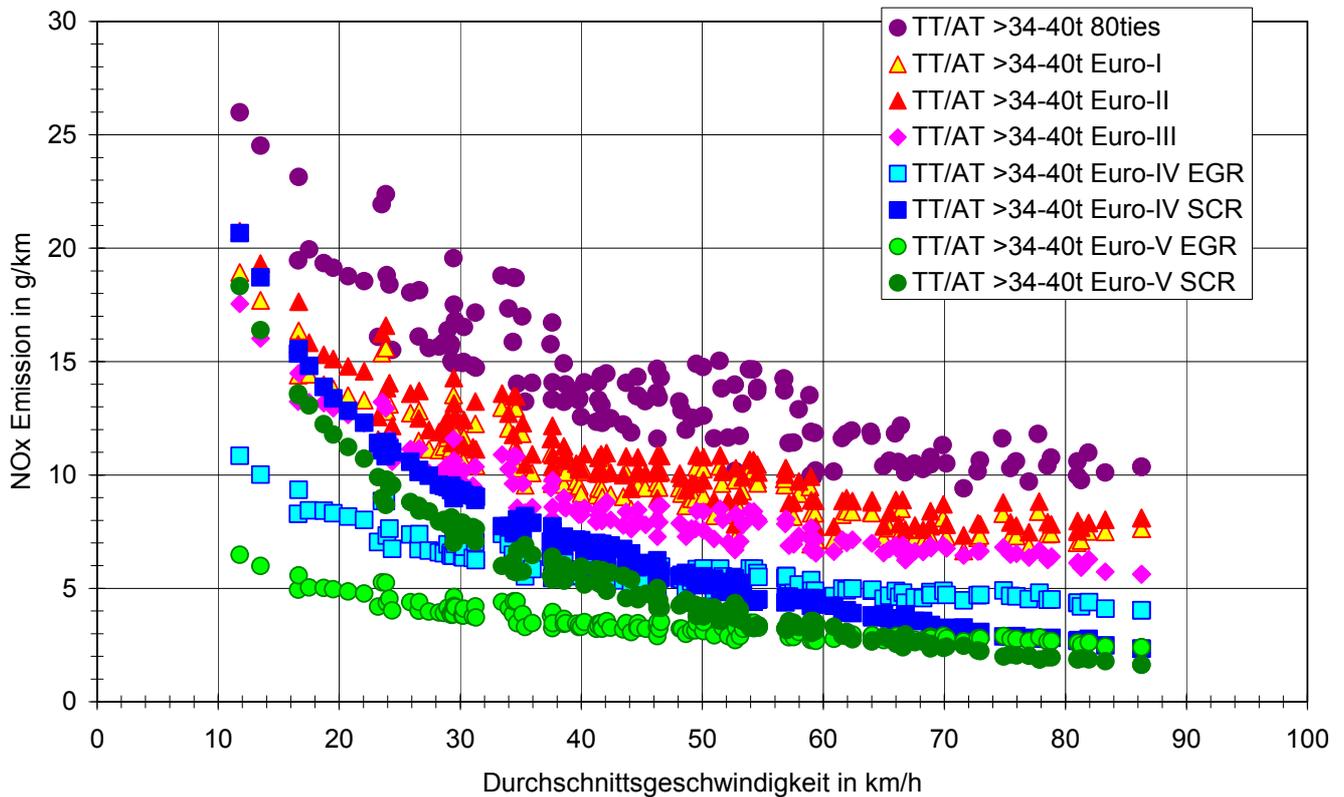


Abbildung 69: NO_x-Emissionen der Last- und Sattelzüge von 34 t bis 40 t zul. Gesamtmasse nach Emissionsstufen

4.5 Literaturrecherche Biodiesel

Im Zusammenhang mit den Bestrebungen zur Reduzierung der CO₂-Emissionen kommt zukünftig auch den Biokraftstoffen eine wachsende Bedeutung zu. Die EU-Richtlinie 2009/28/EG (Erneuerbare-Energien-Richtlinie) (Nachfolger der Richtlinie 2003/30/EG) beschreibt und regelt die Verwendung von Biokraftstoffen in Europa. Die Umsetzung in deutsches Recht erfolgte mit der Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung, die eine Beimischungsquote von 10 % zu den fossilen Kraftstoffen bis 2020 erfordert. Inzwischen sind aber auch weitaus höhere Beimischungen bis hin zum reinen Biokraftstoff in der Diskussion.

Grundsätzlich werden bei den Biokraftstoffen die folgenden Arten unterschieden: Pflanzenölkraftstoff, Biodiesel, Bioethanol und Biomethan. Pflanzenölkraftstoff und Biomethan haben aber eine untergeordnete Bedeutung. Beim Bioethanol wird derzeit bereits eine Mischung aus 85 % Ethanol und 15 % Benzin von einer Reihe von Tankstellen in Deutschland und weiteren europäischen Staaten angeboten (www.ethanol-tanken.com). Vergleichbares gilt für Biodiesel (Rapsmethylester, RME), der in reiner Form (B100) oder in verschiedenen Mischungsverhältnissen mit normalem Dieselmotorkraftstoff (B10 und B30) angeboten wird (www.biodiesel.de). Der handelsübliche Dieselmotorkraftstoff enthält 7% Beimischung von Biodiesel. Leider erteilen die Fahrzeughersteller Freigaben für den Betrieb mit Biodiesel, wenn überhaupt, dann nur für ältere Fahrzeuge ohne Rußpartikelfilter.

Das Handbuch für Emissionsfaktoren enthält in seiner neuesten Version (3.1) Emissionsfaktoren für Pkw mit Benzinmotor der Emissionsstufen Euro 4 bis 6 für für Bioethanol E85. Die Schadstoffemissionen weisen keine Unterschiede zu vergleichbaren Emissionsstufen mit herkömmlichem Benzin-Kraftstoff auf. Die gesamten CO₂-Emissionen sind sogar etwas günstiger als bei Fahrzeugen mit herkömmlichem Benzin-Kraftstoff. Demgegenüber wird aber für E85 ein 50 % höherer Kraftstoffverbrauch ausgewiesen. Für Biodiesel sind im Handbuch keine Emissionsfaktoren vorhanden, weil die verfügbaren Daten zu unsicher waren. Allerdings ist sich die Handbuch-Arbeitsgruppe darin einig, dass Emissionsfaktoren für Biodiesel in zukünftigen Updates enthalten sein sollten.

Eine Literaturrecherche hinsichtlich der Auswirkung der Verwendung von Biodiesel auf die NO_x-Emissionen ergab ein uneinheitliches Bild. Rothe fand bei einem EURO IV Lkw-Dieselmotor bei Verwendung von Biodieselbeimischungen eine Abnahme der NO_x-Emissionen um rund 9 % (siehe Rothe, D. (2005)). Es wurden jeweils die reinen Kraftstoffe sowie

Beimischungen eines hydrierten Biodiesels (10 % und 50 %) zum Basiskraftstoff untersucht. Beim dem hydrierten Biodiesel wurden biologische Öle (Fettsäuren aus pflanzlichem und tierischem Ursprung) hydriert, wobei überwiegend n-Paraffine entstehen (BTL = Biomass-to-Liquid). Es handelte sich dabei also nicht um RME.

MUNACK et al. (2003) kamen bei einem EURO II Lkw-Dieselmotor zum gegenteiligen Ergebnis (Zunahme der NO_x-Emissionen um 10 % bei Verwendung von RME gegenüber herkömmlichen Dieselmotor, siehe STEIN et al. (2003) und MUNACK et al. (2003)).

Fundiertere Aussagen zum Biodiesel wurden nicht gefunden.

4.6 Emissionsfaktoren für Steigungen größer 6 %

Ein bedeutender Parameter für die Höhe der Schadstoffemissionen ist die Fahrbahnlängsneigung. Das HBEFA stellt Emissionsfaktoren für Längsneigungsklassen zwischen -6 % bis +6 % mit Klassenbreiten von 2 % zur Verfügung. Im Rahmen des Projekts wurde auch die Frage aufgeworfen, wie mit Steigungen > 6 % (wie im Falle der Bergstraße in Dresden) zu verfahren ist.

Dazu wurde eine Auswertung der Emissionsfaktoren in Abhängigkeit von der Längsneigung vorgenommen. Die Ergebnisse sind in den folgenden Bildern dargestellt. Gezeigt sind die Verhältnisse der NO_x-Emissionsfaktoren bei unterschiedlichen Längsneigungen gegenüber dem ebenen Fall für die Verkehrssituationen, die für die Bergstraße zur Anwendung kommen.

Abbildung 70 zeigt die Ergebnisse für Pkw. Zunächst ist festzustellen, dass die Kurven gut durch Polynome 3. Grades approximiert werden können, dass aber auch große Unterschiede zwischen den Verkehrszuständen bestehen. Bei stop & go ist der Längsneigungseinfluss am niedrigsten, bei freiem Verkehr mit Tempolimit 60 km/h am größten. Eine Extrapolation auf +8 % Längsneigung ergibt Erhöhungen der NO_x-Emission zwischen 12 (stop & go) und 31 % (freier Verkehr, Tempo 60) gegenüber der Längsneigung von 6 %.

Bei leichten Nutzfahrzeugen ergeben sich ähnliche Trends, wobei die Unterschiede zwischen extrapolierten Werten bei 8 % und den Werten bei 6 % größer sind als bei den Pkw (20 % bis 37 %, siehe Abbildung 71).

Bei den schweren Nutzfahrzeugen kann man keine einheitlichen Approximationskurven für den gesamten Längsneigungsbereich verwenden, sondern muss zwischen Steigung und Gefälle unterscheiden (siehe Abbildung 72). Der positive Bereich kann aber ebenfalls durch Polynome approximiert werden (siehe Abbildung 73). Es ergeben sich bei 8 % Längsneigung Steigerungsraten für NO_x zwischen 16 % und 34 % gegenüber 6 % Längsneigung.

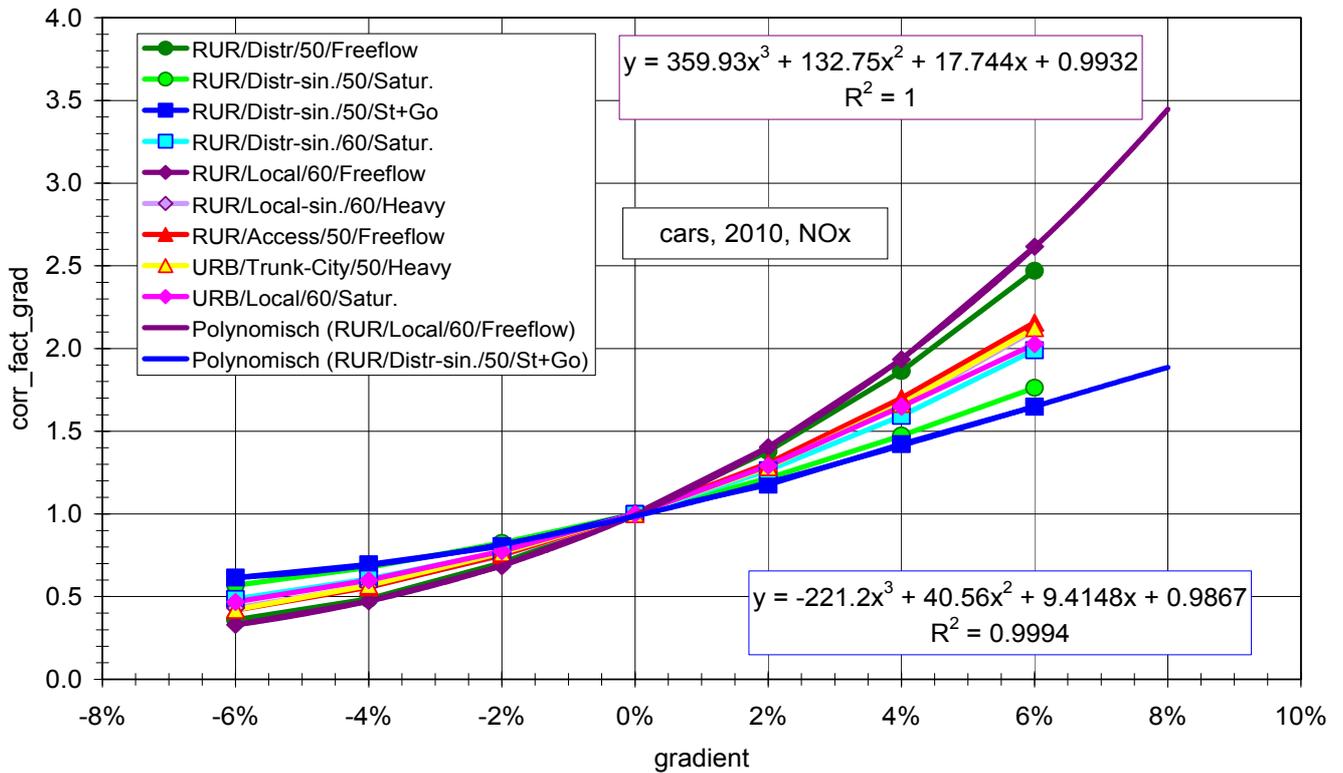


Abbildung 70: Verhältnis der NO_x-Emissionsfaktoren bei unterschiedlichen Längsneigungen gegenüber der ebenen Straße für unterschiedliche Verkehrssituationen bei Pkw

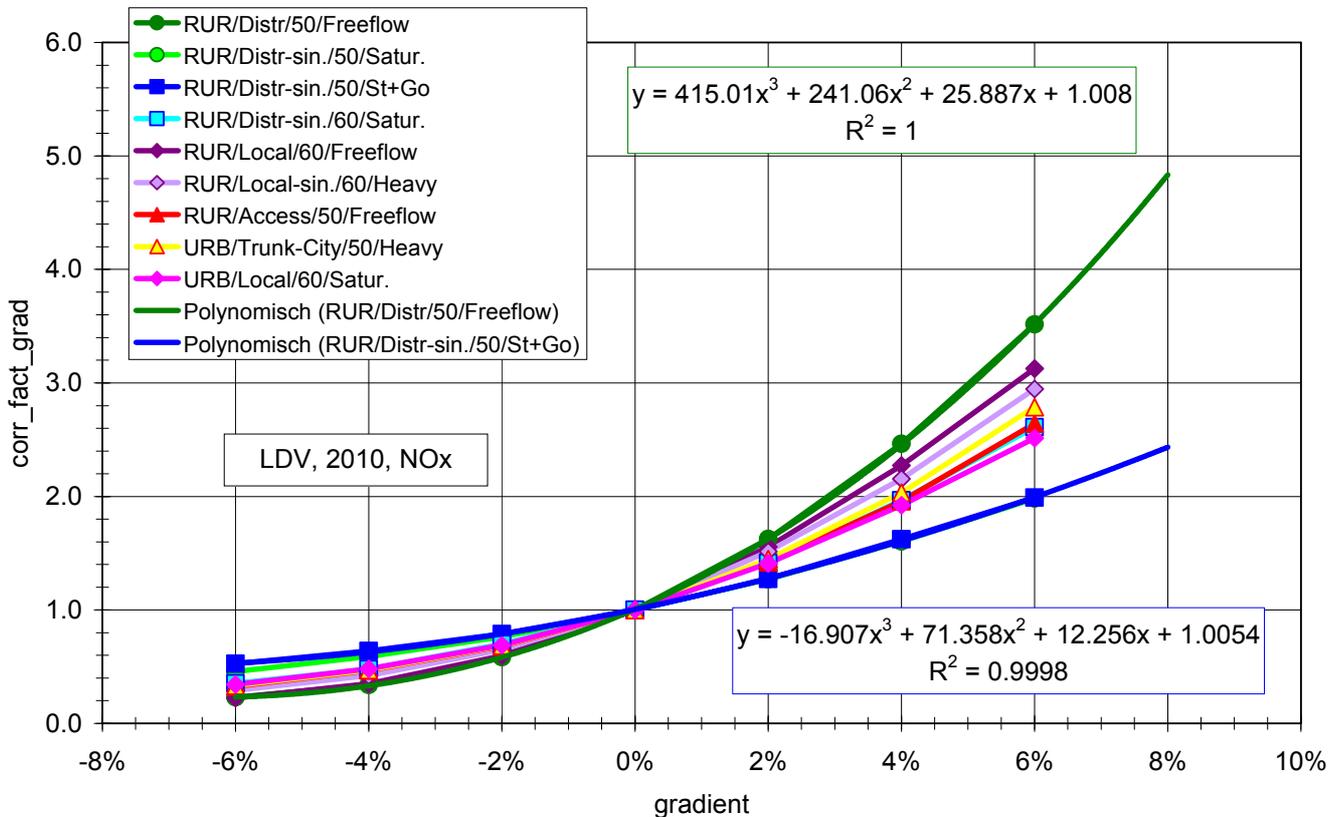


Abbildung 71: Verhältnis der NO_x-Emissionsfaktoren bei unterschiedlichen Längsneigungen gegenüber der ebenen Straße für unterschiedliche Verkehrssituationen bei leichten Nutzfahrzeugen

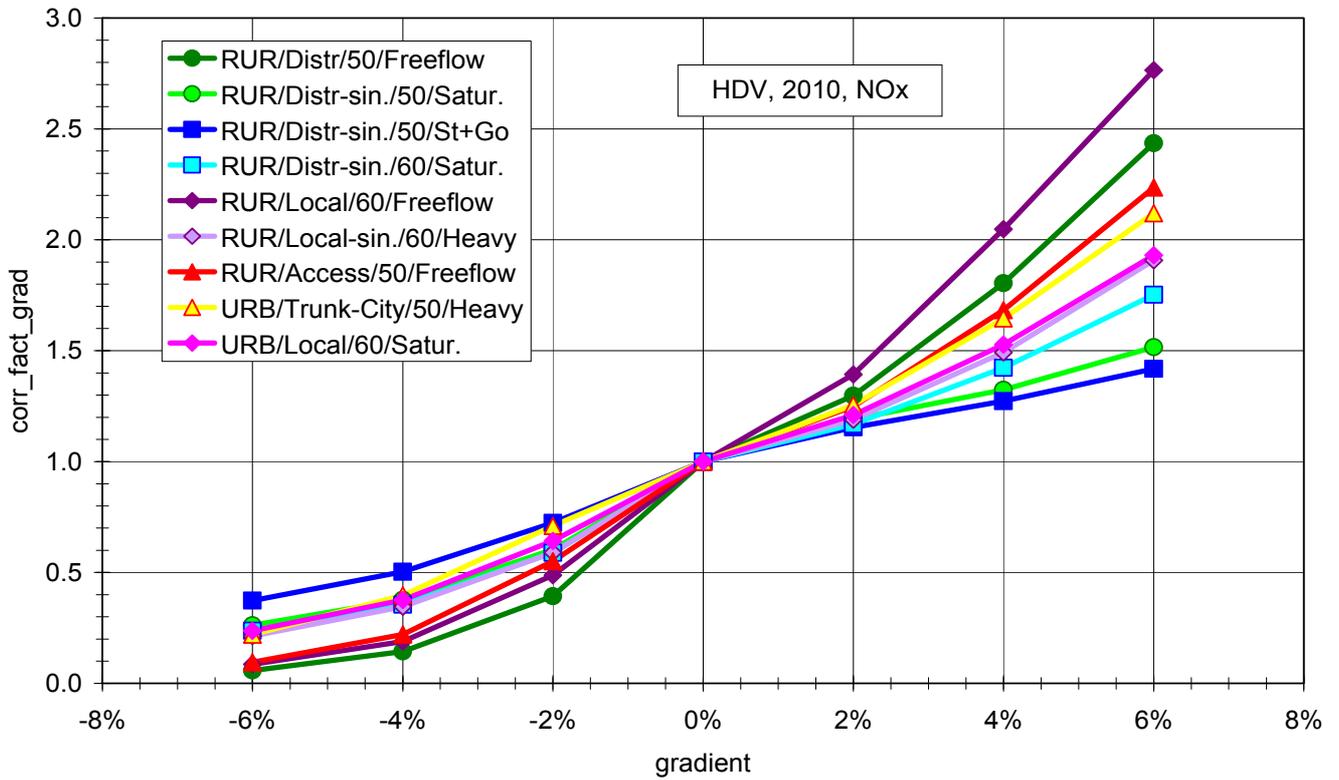


Abbildung 72: Verhältnis der NO_x-Emissionsfaktoren bei unterschiedlichen Längsneigungen gegenüber der ebenen Straße für unterschiedliche Verkehrssituationen bei schweren Nutzfahrzeugen

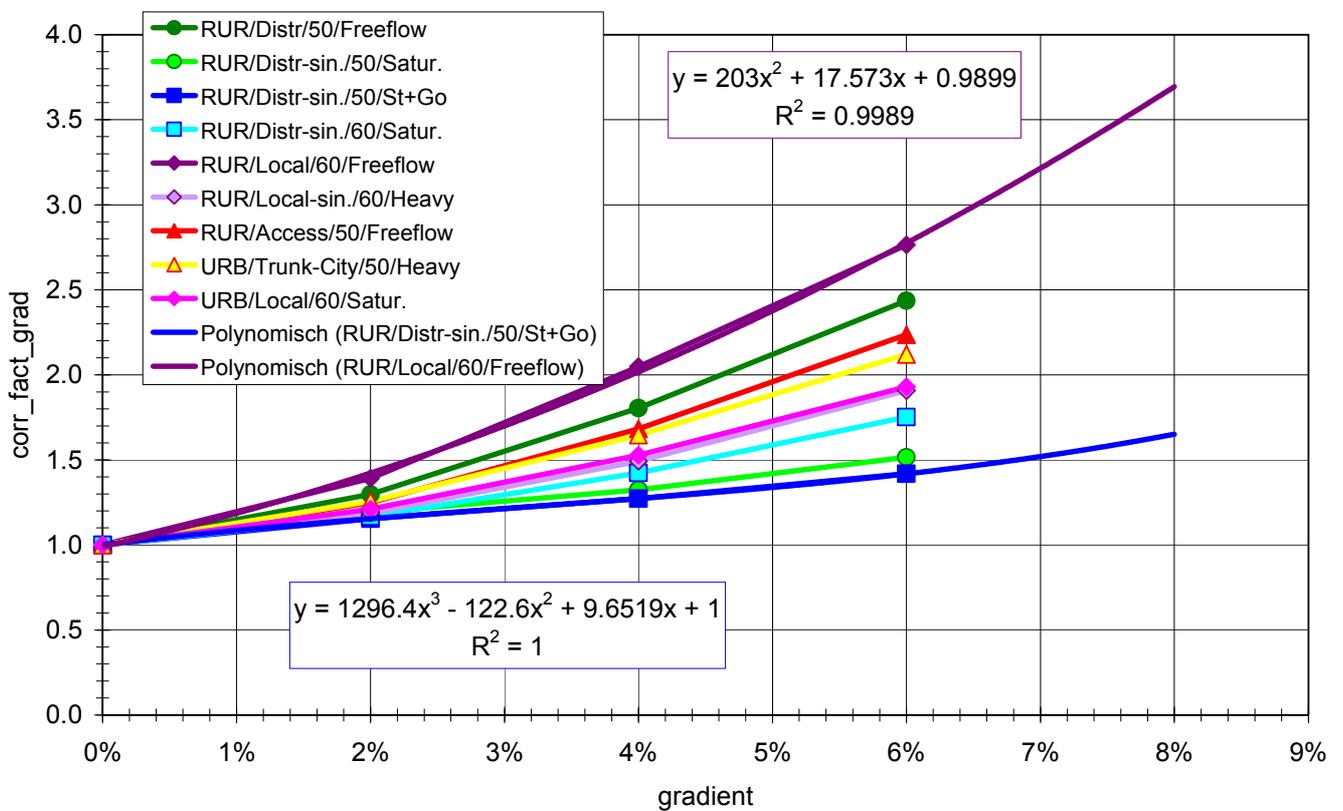


Abbildung 73: Verhältnis der NO_x-Emissionsfaktoren bei unterschiedlichen positiven Längsneigungen gegenüber der ebenen Straße für unterschiedliche Verkehrssituationen bei schweren Nutzfahrzeugen

5 Prognose der Entwicklung bis 2020

5.1 Aussagen der Luftreinhaltepläne in Sachsen

Der Grenzwert für NO₂ wurde zum 01.01.2010 gültig. Luftreinhaltepläne zu NO₂ sollen auch Auskunft darüber geben, ob die Vorgaben in diesem Stichjahr eingehalten werden.

Alle sechs vorliegenden Luftreinhaltepläne enthalten Prognosen der NO₂-Immissionsbelastung für 2010 bzw. 2011, drei der Pläne nennen Prognosen für 2015. Die Prognosen beruhen auf Modellberechnungen verschiedener Szenarien, in die Annahmen zur Entwicklung z. B. des Verkehrs, der Emissionsfaktoren und des NO₂/NO_x-Verhältnisses einfließen.

5.1.1 Prognose 2010

In Tabelle 45 werden als Zitate die Aussagen der Luftreinhaltepläne zur Einhaltung der Grenzwerte im Stichjahr 2010 aufgeführt. Zwei Pläne (Leipzig Fortschreibung und Plauen) haben die Prognosen für 2011 und nicht für 2010 aufgestellt, „... weil gemäß der RL 2008/50/EG der nächste Termin für die Erfüllung der PM10-Grenzwerte das Jahr 2011 ist. Zugunsten der Einheitlichkeit wurde auch NO₂ für 2011 ausgewiesen“.

Tabelle 45: Prognose 2010 bzw. 2011 als Zitat der Luftreinhaltepläne

Gebiet	Verdacht auf ÜS 2010	Prognose für 2010 bzw. 2011 als Zitat aus dem Plan	Seite
Chemnitz	Ja	Lagen die höchsten Konzentrationen für bewohnte Straßenabschnitte im Zeitraum 2001-05 noch bei 58 µg/m ³ für NO ₂ , so können diese durch Umsetzung aller Maßnahmen auf 45 µg/m ³ bis 2010 gesenkt werden. Hauptursache für diese Immissionsreduzierung sind neben dem technischen Fortschritt der Kfz-Technik vor allem die geplanten verkehrsregulierenden Maßnahmen.	65
Dresden	Ja	Das Regierungspräsidium Dresden hat sich daher entschieden, den Luftreinhalte- und Aktionsplan in der vorliegenden Fassung als 1. Schritt für eine Verbesserung der Luftqualität ohne eine Umweltzone, aber mit einer erheblichen Anzahl anderer Maßnahmen zu verabschieden. Somit können die ersten Maßnahmen zeitnah umgesetzt werden. In einem 2. Schritt sollen weitere Maßnahmen in den Luftreinhalte- und Aktionsplan aufgenommen werden. Nach jetziger Erkenntnislage ist die Einrichtung einer Umweltzone bis spätestens 2010 unausweichlich. Dies sollte Thema der Fortschreibung des Luftreinhalte- und Aktionsplans sein.... Abschließend wird darauf hingewiesen, dass in allen modellierten Fällen Straßenabschnitte bleiben, für die die Grenzwerte mit diesem Maßnahmenpaket noch nicht eingehalten werden können. Für diese Abschnitte müssen im Einzelfall weitere Maßnahmen geprüft werden.	73
Görlitz	Nein	NO ₂ liegt sehr deutlich unter den Grenzwerten, sodass generell Grenzwertverletzungen unwahrscheinlich sind.	54
Leipzig	Ja	Die für PM10 getroffenen Aussagen treffen im Wesentlichen auch für NO ₂ zu. Hier ist der Einfluss des Verkehrs auf die Gesamtbelastung ... noch stärker. ... Im Rahmen der oben genannten Unsicherheiten könnten im Jahr 2010 im Stadtzentrum (Umgebung des Hauptbahnhofes, Jahnallee, Friedrich-Ebert-Straße, Käthe-Kollwitz-Straße) noch Überschreitungen auftreten. Die Jahnallee würde der Immissionsschwerpunkt bleiben. Außer dieser Straße sind noch Willi-Brandt-Platz, Dittrichring, Friedrich-Ebert-Straße, Käthe-Kollwitz-Straße, Wurzenener Straße und Am Gothischem Bad zu beobachten. Für diese Straßen wäre ggf. eine langfristige Lösung (z. B. dauerhafte verkehrslenkende Maßnahmen für LKW) erforderlich.	61
Leipzig (Fortschreibung)	Ja	Für das Jahr 2011 werden für zwei Abschnitte der Käthe-Kollwitz-Straße (Dittrichring bis Thomasiusstraße), der B181 (Leipziger Straße bis Miltitzer Straße), der Berliner Straße (Kurt-Schuhmacher-Straße bis Erich-Weinert-Straße) sowie der Harkortstraße (Riemannstraße bis Beethovenstraße) und Dufourstraße (Wundtstraße bis Floßplatz) mit NO ₂ -Gesamtbelastungen von 41,9 bis 40,6 geringfügige Überschreitungen des NO ₂ -Grenzwertes berechnet. Auch für diese Straßenabschnitte gelten analoge Aussagen zur Unsicherheit der Modellierung wie bereits für PM10 ausgeführt.	52
Plauen	Ja	Tab. 13-3, Tab. 13-4	97

In allen Plänen wurden Prognosedaten für das Jahr 2010 vorgelegt. In fünf dieser Pläne wurde der Verdacht auf eine Grenzwertüberschreitung im Jahr 2010 ausgesprochen.

Görlitz hat keine NO₂-Überschreitung zu verzeichnen und geht auch nicht von einer Grenzwertverletzung durch NO₂ für 2010 aus.

5.1.2 Prognose 2015

In Tabelle 46 werden als Zitate die Aussagen der Pläne mit dem Prognosehorizont 2015 aufgeführt.

Tabelle 46: Prognose 2015 als Zitat der Luftreinhaltepläne

Gebiet	Verdacht auf ÜS 2015	Prognose für 2015 als Zitat aus dem Plan	Seite
Chemnitz	Ja	Der NO ₂ -Grenzwert kann auch 2015 noch nicht an allen prognostizierten Straßenabschnitten eingehalten werden, jedoch sind die berechneten Überschreitungen nur noch so gering, dass sie deutlich unter den Fehlergrenzen des Modells liegen. Die verkehrswirksame Umsetzung der geplanten (Kap. 8) und zusätzlichen (Kap. 9) Maßnahmen führt 2015 zu einem starkem Rückgang der höchsten absoluten Konzentrationen bei NO ₂ von 58 µg/m ³ auf 44 µg/m ³ .	66
Dresden	k. A.	k. A.	-
Görlitz	k. A.	k. A.	-
Leipzig	k. A.	k. A.	-
Leipzig (Fortschreibung)	Nein	Ein Blick auf die Ergebnisse der Modellierung für das Szenario 2015 zeigt, dass die Umweltzone bis dahin und vermutlich darüber hinaus erhalten bleiben muss. Während die PM10-Belastungen auf Grund des hohen Aufwirbelungsanteils kaum weiter zurückgehen, reduzieren sich die NO ₂ -Belastungen noch einmal deutlich. Mit der Umweltzone in der Variante 3 werden für alle Straßenabschnitte die Grenzwerte eingehalten. Dieser Sachverhalt ist auch auf die Umweltzone in der Variante 4 übertragbar. Die lufthygienische Situation kann in Leipzig nur durch ein ganzes Bündel von Maßnahmen ausreichend verbessert werden, um zukünftig die Grenzwerte für PM10 und NO ₂ einzuhalten. Die weitest reichende und effektivste Maßnahme ist dabei die Einführung eine Umweltzone, die einen Großteil des Stadtgebiets umfasst. Die Berechnungen zeigten sehr deutlich, dass eine kleinere Umweltzone auf Grund fehlender Alternativstrecken nicht zu dem gewünschten Erfolg führt.	52
Plauen	Nein	Alle Modellierungsergebnisse wurden zum Schutz der Bevölkerung mit konservativen, d. h. mit tendenziell schärferen Parametern, gewonnen. Daher wird davon ausgegangen, dass in der Regel vor allem in den hochbelasteten Straßenabschnitten die berechneten Konzentrationen die tatsächlichen eher überschätzen. Aufgrund dieses und des systembedingten Modellierungsfehlers werden berechnete Straßenabschnitte, bei denen die modellierte NO ₂ -Konzentration < 44 µg/m ³ beträgt, nicht als Grenzwertüberschreitung betrachtet. ... Der Vergleich der Ergebnisse in Abb. 6-1 zeigt, dass für 2015 die Kombination der Maßnahmen Ausbau der Trockentalstraße ... (Prognose 6) zu den stärksten Reduzierungen der Immissionsbelastungen führt. In Prognose 6 gelingt es 2015 erstmals für alle Straßenabschnitte der Stadt Plauen die Grenzwerte im oben erwähnten 10 % Rahmen einzuhalten.	47/48

In drei Luftreinhalteplänen wurden Prognosedaten für das Jahr 2015 vorgelegt. Davon wurde in einem (Chemnitz) der Verdacht auf eine Grenzwertüberschreitung im Jahr 2015 ausgesprochen. In den beiden anderen Plänen (Leipzig Fortschreibung und Plauen) wurde prognostiziert, dass die Grenzwerte im Jahr 2015 eingehalten werden, wenn die jeweils geplanten Minderungsmaßnahmen im vollen Umfang umgesetzt werden.

5.1.3 Methoden der Prognose in den Luftreinhalteplänen

Die Prognosen der NO₂-Immissionsbelastung in den sechs für Sachsen vorliegenden Luftreinhalteplänen beruhen auf folgenden Annahmen:

- durchschnittliche Meteorologie
- keine Veränderung der nicht-verkehrlichen Emissionen
- Prognose der Verkehrsbelegung
- Prognose der Emissionsfaktoren des Kfz-Verkehrs
- Änderung des NO₂/NO_x-Verhältnisses im Kfz-Abgas

In fünf der sechs Luftreinhaltepläne wird bei der Prognose von durchschnittlichen meteorologischen Bedingungen ausgegangen. Nur im Luftreinhalteplan Görlitz wird der Einfluss ungünstiger meteorologischer Bedingungen auf die Immissionsbelastung über einen einfachen Ansatz berücksichtigt. Insbesondere die im Luftreinhalteplan Plauen prognostizierte sehr knappe Einhaltung des Grenzwerts für den NO₂-Jahresmittelwert im Jahr 2015 ist daher unter der Einschränkung der tatsächlich eintretenden meteorologischen Bedingungen zu sehen.

Die nicht-verkehrlichen Emissionen haben innerstädtisch einen im Vergleich zum Kfz-Verkehr geringen Einfluss auf die NO₂-Immissionsbelastung (Tabelle 9). Die Annahme gleichbleibender nichtverkehrlicher Emissionen wird daher als gerechtfertigt angesehen.

In den sechs Luftreinhalteplänen werden unterschiedliche Annahmen bezüglich der Entwicklung der Verkehrsbelegung getroffen. Zum Teil werden die Werte von 2005 beibehalten, zum Teil wird eine sinkende oder steigende Verkehrsbelegung prognostiziert. In UBA ÖSTERREICH (2008) wird die Verkehrsbelegung als entscheidend für die Entwicklung der NO₂-Immissionen bezeichnet. Daher wird dort alternativ zur eigentlichen Verkehrsprognose ein Nullwachstum bzw. das doppelte Wachstum angesetzt - UBA ÖSTERREICH (2008) geht von wachsenden Verkehrszahlen aus - und die Immissionsprognose durchgeführt, um die Sensitivität der prognostizierten Immissionen auf die Verkehrsbelegung erfassen zu können.

Ein weiterer wesentlicher Faktor bei der Immissionsprognose ist die Prognose der Emissionsfaktoren. Die Emissionsfaktoren des Kfz-Verkehrs wurden in den Luftreinhalteplänen in fünf von sechs Fällen nach HBEFA 2.1 (INFRAS (2004)) zunächst für die Analyse der Ist-Situation ermittelt.

Darauf aufbauend wurde basierend auf dem sächsischen Trend der NO₂-Immissionen der letzten 10 Jahre eine Reduktion vorgenommen, die berücksichtigen soll, dass sich in aktueller Zeit das NO₂/NO_x-Verhältnis offenbar hin zu höheren NO₂-Werten verschiebt (z. B. IVU UMWELT (2005), LAMBRECHT, U. (2006)). Diese Vorgehensweise kann auf Grund der Kürze der beigefügten Erläuterungen hier nicht beurteilt werden kann. Insbesondere wird nicht deutlich, inwieweit der Trend in den Immissionen auf die Entwicklung der Emissionen übertragen wurde.

Mit Erscheinen des neuen HBEFA 3.1 Anfang 2010 (INFRAS (2010)) müssen die Prognosen sowohl der NO_x-Emissionen als auch der NO₂-Direktemissionen neu erstellt werden. Die Ergebnisse aus Kapitel 5.2 am Beispiel der Hotspots Dresden-Bergstraße und Leipzig-Lützner Straße zeigen, dass deutliche Unterschiede zwischen den Ergebnissen basierend auf dem alten HBEFA 2.1 (INFRAS (2004)) und dem neuen HBEFA 3.1 (INFRAS (2010)) auftreten können.

5.1.4 Übersicht über die NO₂- und NO_x- Immissionsentwicklung in den Nachbarländern

Deutschland grenzt an die EU-Mitgliedsstaaten Dänemark, Polen, Tschechien, Österreich, Frankreich, Luxemburg, Belgien und die Niederlande sowie an das Nicht-EU-Mitglied Schweiz. Berichte zur allgemeinen NO₂- und NO_x-Immissionsentwicklung in diesen Ländern konnten trotz intensiver Recherche nicht gefunden werden. Insbesondere für NO_x wird häufig die Emissions-, nicht jedoch die Immissionsentwicklung untersucht. Mit Hilfe der AirBase-Datenbasis (EIONET (2009)) könnte eine Analyse der Entwicklung der NO₂-Konzentrationen in den Nachbarländern durchgeführt werden. Der Aufwand dafür ist im vorliegenden Projekt nicht abgedeckt.

Als Anhaltspunkt zeigt Abbildung 74 die Entwicklung der NO₂-Jahresmittelwerte zwischen 1997 und 2007 für die städtischen und vorstädtischen Hintergrundstationen der Mitgliedsstaaten der European Environment Agency (EEA) mit Ausnahme von Zypern, Island, Liechtenstein, Luxemburg, Malta, Norwegen und der Türkei. Die EEA-Mitgliedsstaaten umfassen dabei die 27 Mitgliedsstaaten der EU sowie Island, Liechtenstein, Norwegen, Schweiz und Türkei. Zusätzlich zur Entwicklung der

Jahresmittelwerte ist hellblau der Korridor dargestellt, in dem sich die Konzentrationswerte bewegen, die von 10 % bzw. 90 % der betrachteten Stationen nicht überschritten wurden.

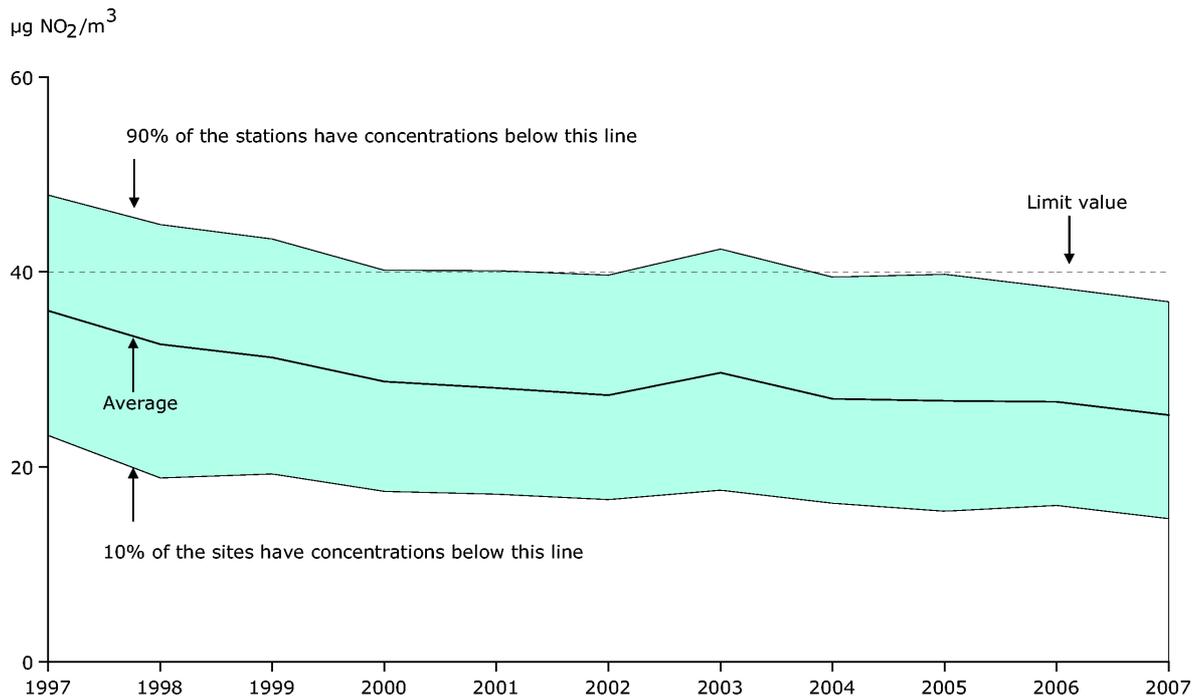


Abbildung 74: NO₂-Jahresmittelwerte 1997 – 2007, gemittelt über die Messwerte der städtischen und vorstädtischen Hintergrundstationen der EEA-Mitgliedsstaaten mit Ausnahme von Zypern, Island, Liechtenstein, Luxemburg, Malta, Norwegen und der Türkei. Copyright: EEA, COPENHAGEN (2009)

Nach Abbildung 74 gehen die NO₂-Konzentrationen in Europa für städtische und vorstädtische Hintergrundstationen im Mittel zurück. Eine Ausnahme davon bildet das Extremjahr 2003, für das ein leichter Anstieg der mittleren Konzentrationen zu beobachten ist. Dies deckt sich mit dem abnehmenden Trend der NO₂-Jahresmittelwerte der kontinuierlich messenden städtischen Hintergrundstationen in Sachsen (Kapitel 3.2.1) und im gesamten Bundesgebiet (Kapitel 3.2.2). Dabei liegt der Wertebereich der in Abbildung 74 dargestellten NO₂-Jahresmittelwerte mit 25 – 36 µg/m³ etwas höher als der Wertebereich der sächsischen (20 – 29 µg/m³) bzw. gesamtdeutschen (23 – 31 µg/m³) städtischen Hintergrundstationen.

5.2 Prognose der Entwicklung für die Bergstraße und die Lützner Straße

Zur Beurteilung der vergangenen und der zukünftigen NO₂-Entwicklung am Beispiel der Hotspots Dresden-Bergstraße und Leipzig-Lützner Straße wurden die Prognosen der NO_x-Emissionen und NO₂-Direktemissionen der jeweiligen Straßenabschnitte an der Messstation auf der Basis des alten HBEFA 2.1 und der neuen Version HBEFA 3.1 berechnet. Die Emissionen wurden zum einen mit der im entsprechenden HBEFA angegebenen Standardflotte für Deutschland⁴ und zum anderen mit einer sächsischen Flotte berechnet. Die Berechnungen auf Basis des HBEFA 2.1 wurden mit IMMIS^{em} in der Version 4.0 (IVU UMWELT (2008)) mit NO₂-Anteilen aus IVU UMWELT (2009A) und die auf Basis des HBEFA 3.1 mit IMMIS^{em} in der Version 5 (IVU UMWELT (2010)) durchgeführt. Der Straßentypen wurden für die Bergstraße entsprechend Kapitel 4.3.2.1 und für die Lützner Straße gemäß Kapitel 4.3.2.2 gewählt.

⁴ Im HBEFA 3.1 wird die Standardflotte für Deutschland als „BAU“ (D) bezeichnet.

Tabelle 47: Übersicht der verwendeten Parameter zur Emissionsberechnung für die Bergstraße in Dresden und Lützner Straße in Leipzig (Parametrisierung nach IMMIS^{em} 5.0 (IVU UMWELT (2010)))

Name	Dresden Bergstraße	Leipzig Lützener
DTV Kfz/24h	26'332	20'972
SLkw-Anteil %	1.1	1.4
Steigung %	+/- 6	0
Straßentyp	Agglomeration / Hauptverkehrsstraße	Agglomeration / Hauptverkehrsstraße
Tempolimit km/h	50	50
Anzahl Spuren	4	2
Fahrleistungsanteil LOS frei %	6.3	3.5
Fahrleistungsanteil LOS dicht %	93.7	68.4
Fahrleistungsanteil LOS gesättigt %	0	20.4
Fahrleistungsanteil LOS stop & go %	0	7.7
Typ Kaltstart ⁵	Radial	Radial
Typ Tagesganglinie ⁶	wide_peak	small_peak

Für die Jahre 1995, 2000, 2004, 2005, 2007, 2010, 2015 und 2020 wurden die NO_x- und die NO₂- Emissionen für die in Tabelle 48 aufgeführten Szenarien berechnet.

Tabelle 48: Übersicht über die gerechneten Szenarien

Szenario	Kürzel E-Faktoren / Flotte	Berechnete Jahre
Emissionsfaktoren nach HBEFA 2.1 Flottenzusammensetzung nach HBEFA 2.1	HBEFA 2.1 / HBEFA 2.1	alle
Emissionsfaktoren nach HBEFA 2.1 Flottenzusammensetzung für Sachsen	HBEFA 2.1 / Sachsen	ab 2005
Emissionsfaktoren nach HBEFA 3.1 Flottenzusammensetzung nach HBEFA 3.1	HBEFA 3.1 / HBEFA 3.1	alle
Emissionsfaktoren nach HBEFA 3.1 Flottenzusammensetzung für Sachsen	HBEFA 3.1 / Sachsen	ab 2005

Die Ergebnisse der Emissionberechnungen sind getrennt für die Bergstraße in Dresden und die Lützener Straße in Leipzig für NO_x- und NO₂-Emissionen in Abbildung 75 bis Abbildung 78 sowohl absolut als auch relativ dargestellt.

⁵ Zur Kaltstarttypisierung siehe IVU Umwelt (2010). Die Kaltstartzuschläge werden in IMMIS^{em} Version 5 entsprechend der Richtlinie VDI 3782 Blatt 7 basierend auf Fahrtweitenverteilungen, Standzeitenverteilungen, Verkehrsverteilungen und Temperaturganglinien berechnet (IVU Umwelt (2010)).

⁶ Die Typisierung der Tagesganglinie für die LOS-Berechnung ist aus der Parametrisierung nach IMMIS^{em} Version 5 gewählt worden. Dabei wird mit wide_peak eine breite und mit small_peak eine schmale Morgen- bzw. Nachmittagsspitze der einwärtigen oder auswärtigen Fahrrichtung beschrieben (IVU Umwelt (2010)).

Die NO_x-Emissionen sinken in beiden Straßen in allen Varianten kontinuierlich von 1995 bis 2020. Dabei liegen die Ergebnisse auf Basis des HBEFA 3.1 fast immer über den Werten auf der Basis des HBEFA 2.1. Der relative Unterschied zwischen HBEFA 3.1 und HBEFA 2.1 beträgt 1995 in der Bergstraße 10 % und in der Lützner Straße 16 % und steigt bis 2007 auf 72 % in der Bergstraße bzw. 45 % in der Lützner Straße an, um bis 2020 wieder auf 18 % bzw. -3 % herunterzugehen. Bei Verwendung der sächsischen Flotte ist der Unterschied mit maximal 46 % in der Bergstraße bzw. 26 % in der Lützner Straße jeweils im Jahr 2015 deutlich geringer.

Bei Berücksichtigung der modifizierten Flotte für Sachsen sind die NO_x-Emissionen geringer im Vergleich zur HBEFA-Flotte, da in dieser Flotte Fahrzeuge der Euronorm größer EURO 3 einen größeren Fahrleistungsanteil haben. Des weiteren führt der im Vergleich zum Bundesdurchschnitt geringere Anteil Dieselfahrzeuge (siehe Kapitel 4.2) zu niedrigeren NO_x-Emissionen.

Bei den direkten NO₂-Emissionen prognostizieren die HBEFA 2.1-Szenarien einen kontinuierlichen Anstieg bis 2020. Die HBEFA 3.1-Szenarien hingegen ergeben einen Anstieg bis 2010 und danach eine deutliche Abnahme, sodass im Jahr 2020 die nach HBEFA 3.1 berechneten NO₂-Direktemissionen unter denen nach HBEFA 2.1 liegen. Unter Verwendung der sächsischen Flotte werden analog zu NO_x deutlich niedrigere NO₂-Direktemissionen prognostiziert als unter Verwendung der Flotte nach dem jeweiligen HBEFA.

Insgesamt kann aus dieser Prognose abgeleitet werden, dass die NO_x-Emissionen nach beiden HBEFA-Versionen bereits jetzt kontinuierlich sinken und dass nach dem neuen HBEFA 3.1 in Zukunft auch mit einer deutlichen Reduktion der NO₂-Direktemissionen gerechnet werden kann, jedoch erst ab 2015.

Die Auswirkungen der Emissionsentwicklung auf die sich ergebende Immissionsbelastung in den beiden Straßenräumen lässt sich nicht ohne weiteres ableiten, da die Emissionen des Straßenabschnitts nur die Zusatzbelastung beeinflussen. Die photochemischen Bildungsprozesse von NO₂ unter Berücksichtigung der NO₂-Direktemissionen lassen eine einfache Übertragung der Emissionsentwicklung auf die Entwicklung der NO₂-Zusatzbelastung nicht zu. Betrachtet man aber nur die Entwicklung der Zusatzbelastung der NO_x-Konzentrationen, so sollten sich diese Werte unter der Annahme sich nicht ändernder Ausbreitungsbedingungen analog der Entwicklung der NO_x-Emissionen verhalten. Unter Anwendung einer Fortschreibung der sächsischen Kfz-Flotte ergäbe sich damit bis 2020 eine kontinuierliche Reduktion der NO_x-Zusatzbelastung in der Bergstraße um 53 % und in der Lützner Straße um 47 % bezogen auf 2005.

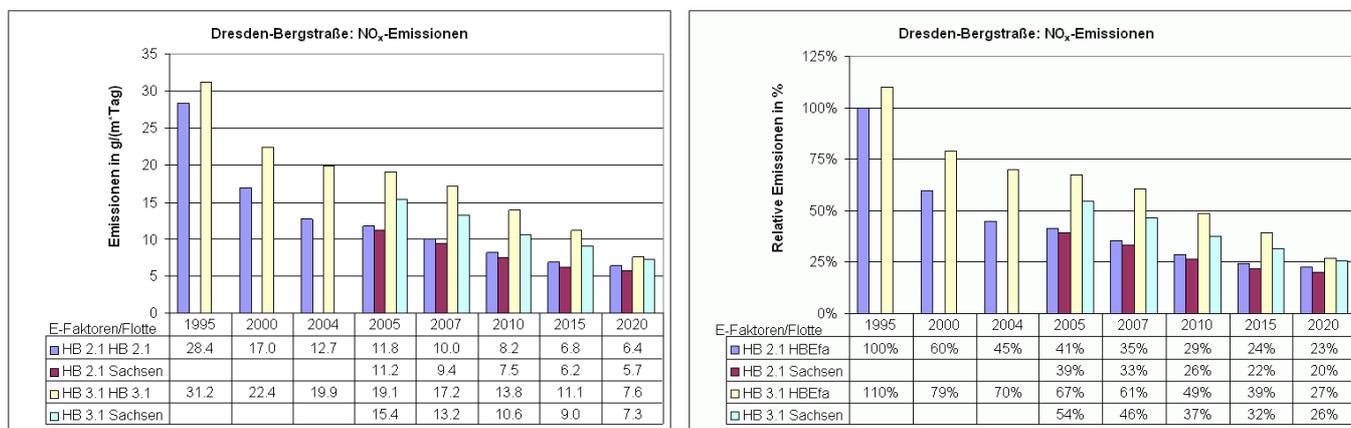


Abbildung 75: Vergleich von Prognosen der NO_x-Emissionsentwicklung für die Bergstraße in Dresden (links absolut, rechts relativ)

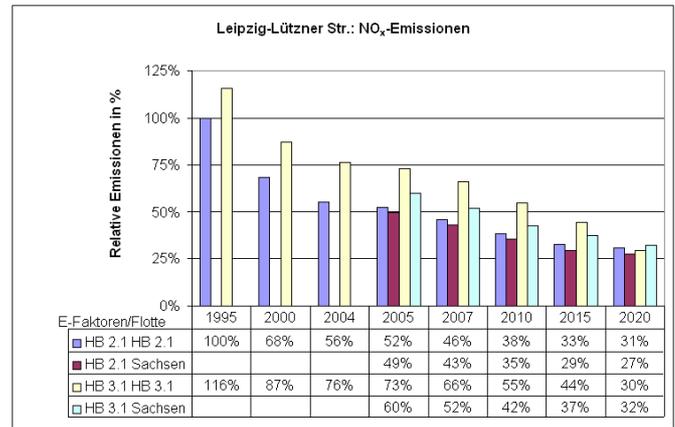
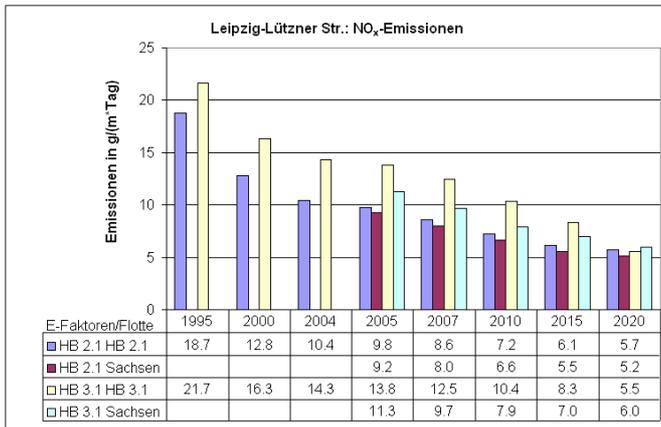


Abbildung 76: Vergleich von Prognosen der NO_x-Emissionsentwicklung für die Lützner Straße in Leipzig (links absolut, rechts relativ)

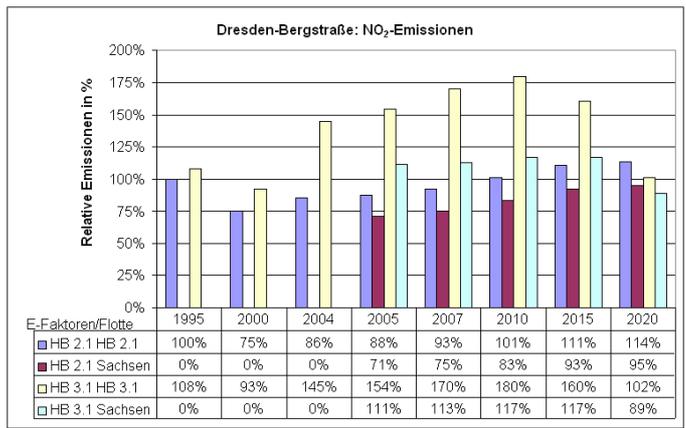
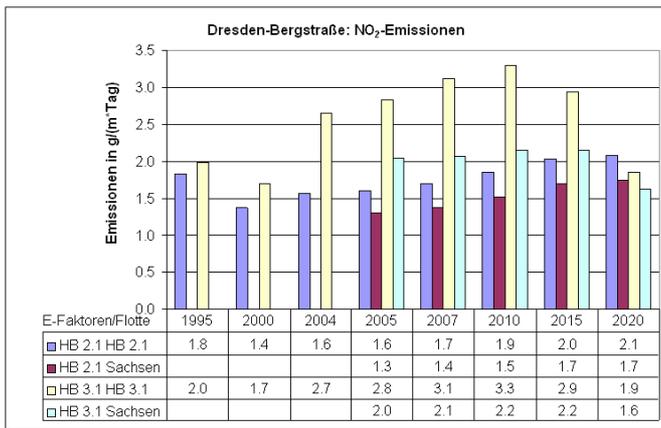


Abbildung 77: Vergleich von Prognosen der NO₂-Emissionsentwicklung für die Bergstraße in Dresden (links absolut, rechts relativ)

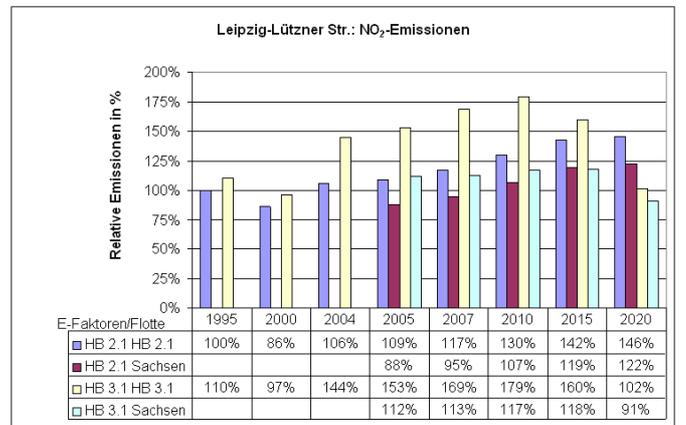
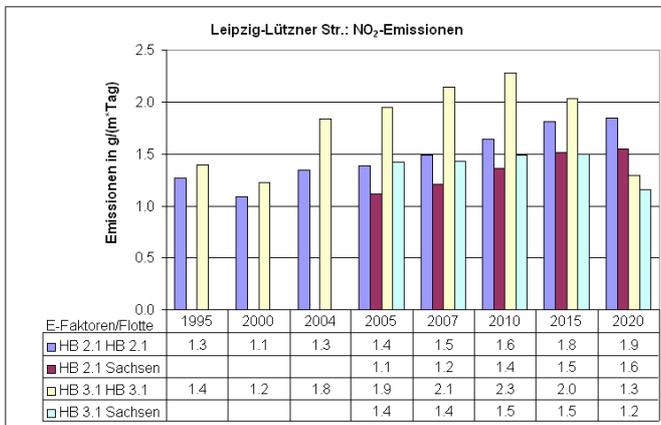


Abbildung 78: Vergleich von Prognosen der NO₂-Emissionsentwicklung für die Lützner Straße in Leipzig (links absolut, rechts relativ)

Wie in Kapitel 4.6 ausgeführt wurde, können Emissionsfaktoren für Straßenneigungen bis 8 % durch eine Extrapolation der Daten für Neigungen bis 6 % mit einem Polynom dritten Grades abgeschätzt werden. Dieses Vorgehen ist auf die Situation in der Bergstraße in Dresden exemplarisch für das Jahr 2010 angewendet worden (Abbildung 79). Unter der Annahme, dass die Hälfte des Kfz-Verkehrs bergan und die andere Hälfte bergab fährt, erhöht sich im Bezugsjahr 2010 in der Bergstraße die NO_x-Emission um 10 % und die NO₂-Emission um 13 % gegenüber einer Neigung von 6 %.

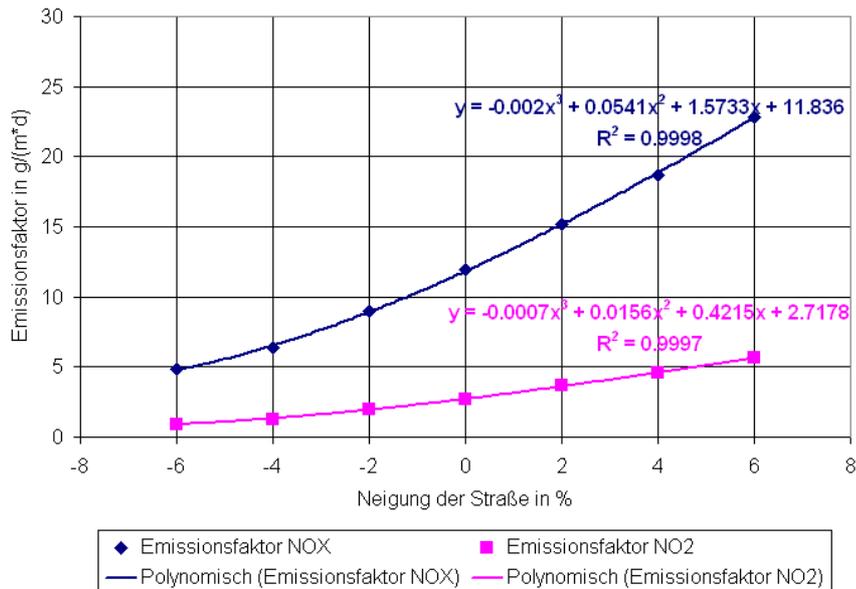


Abbildung 79: Emissionsfaktoren für NO_x und NO₂ für die Neigungswerte von -6 % bis 6 % an der Bergstraße im Bezugsjahr 2010 mit Angabe eines approximierten Polynoms 3. Grades zur Extrapolation der Faktoren

6 Maßnahmen zur Minderung der NO₂-Belastung

6.1 Darstellung möglicher Minderungsmaßnahmen

Aktuelle Studien (z. B. UBA ÖSTERREICH (2008), KURTENBACH et al. (2009)) zeigen, dass zur Einhaltung des NO₂-Grenzwerts die NO_x-Emissionen gesenkt werden müssen und dabei der Anteil der NO₂-Direktemissionen wieder zurückgehen muss.

In den Luftreinhalteplänen in Sachsen wird in den Verursacheranalysen zu NO_x bzw. NO₂ der Straßenverkehr als Hauptverursacher identifiziert (Kapitel 4.1). Dementsprechend sind zur Senkung der NO₂-Immissionsbelastung Maßnahmen sinnvoll, die auf die Minderung der Emissionen des Straßenverkehrs abzielen.

In IVU UMWELT (2009c) wird der aktuelle Sachstand bei der Erstellung von Luftreinhalte- und Aktionsplänen in Deutschland mit Hilfe einer eingehenden Analyse bis 31.08.2008 veröffentlichter Pläne beschrieben. Es wurden die bis zu diesem Stichtag vorgelegten 132 Veröffentlichungen, d. h. Pläne, Fortschreibungen und Entwürfe, ausgewertet und 1.383 Maßnahmen in ein sogenanntes Maßnahmenschema integriert.

Der Schwerpunkt aller Maßnahmen liegt mit 79,1 % bei Maßnahmen der Quellgruppe Kfz-Verkehr (Abbildung 80). Auf die Quellgruppe Stationäre Quellen beziehen sich 16,6 % der Maßnahmen. Zur Quellgruppe Sonstige Quellen zählen 2,8 % der Maßnahmen. Die Maßnahmen der Quellgruppe Sonstiger Verkehr haben einen Anteil von 1,1 %, die der Quellgruppe Landwirtschaft haben einen nur geringen Anteil von unter 0,3 %.

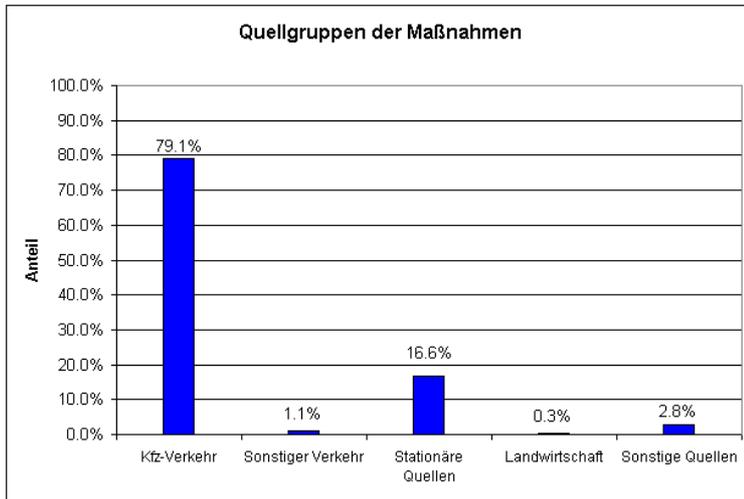


Abbildung 80: Quellgruppen – Anteile der Maßnahmen

Eine genauere Analyse der Quellgruppe Kfz-Verkehr zeigt, dass mit 36 % Maßnahmen aus dem Handlungsfeld Verkehrsmanagement überwiegen (Abbildung 81). Das Handlungsfeld Modal-Split folgt mit 23 % der genannten Maßnahmen. Zum Handlungsfeld Fahrzeugtechnik und Kraftstoffe gehören 11 % der Maßnahmen. Das Handlungsfeld Sonstige hat einen Anteil von 13 %, hierzu zählen u. a. Gesetze, Straßenreinigung oder Öffentlichkeitsarbeit.

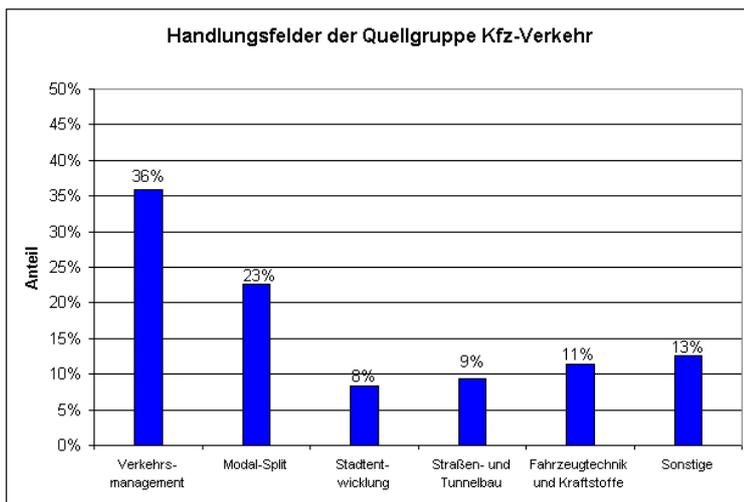


Abbildung 81: Handlungsfelder der Quellgruppe Kfz-Verkehr – Anteile der Maßnahmen

Tabelle 49 zeigt die Rangordnung der in den 132 Luftreinhalte- und Aktionsplänen am meisten genannten Maßnahmen nach der Häufigkeit ihrer Nennung. Ansätze für die Umsetzung der Maßnahme Verkehrsflussoptimierung werden in Kapitel 6.3 beschrieben. In Kapitel 6.2 werden erste Veröffentlichungen zur Wirksamkeit bestehender Umweltzonen ausgewertet.

Tabelle 49: Rangordnung der Maßnahmen nach Häufigkeit – Top 10

Anzahl	Anteil in %	Standard-Maßnahme	Quellgruppe
81	6,3	Emissionsarme Antriebsarten im ÖPNV und bei städtischen Fahrzeugen	Kfz-Verkehr
67	5,2	Verkehrsflussoptimierung	Kfz-Verkehr
57	4,5	ÖPNV, Attraktivitätssteigerung	Kfz-Verkehr
54	4,2	Fahrradverkehr, Attraktivitätssteigerung	Kfz-Verkehr
49	3,8	Baustellenrichtlinie / Staubminderungsplan	Stationäre Quellen
47	3,7	Bau Ring-, Ausfall- oder Umgehungsstraße	Kfz-Verkehr
37	2,9	Öffentlichkeitsarbeit Luftreinhalteplan	Kfz-Verkehr
35	2,7	LKW-Durchfahrtsverbot	Kfz-Verkehr
32	2,5	Umweltzone mit zeitlicher Staffelung	Kfz-Verkehr
32	2,5	Begrünung	Kfz-Verkehr

Zurzeit wird im Auftrag der BAST die Datenbank MARLIS aktualisiert. „In der Datenbank MARLIS sind Maßnahmen zur Luftreinhaltung an Verkehrswegen und deren Auswirkung auf die Luftschadstoffkonzentrationen ausführlich beschrieben und bewertet.“ (BAST (2007)). Die erste Aktualisierung wurde im Jahr 2009 veröffentlicht (BAST (2009)), sie soll jährlich wiederholt werden.

In der Studie UBA ÖSTERREICH (2008) werden folgende Maßnahmen für die Minderung der verkehrsbedingten NO₂-Immissionen vorgeschlagen:

- Maßnahmen zur Steuerung des Gesamtverkehrsaufkommens, Gesamtverkehrskonzept
- Schaffung von fahrleistungs- und emissionsabhängigen Kostenstrukturen (Verursacherprinzip)
- Umsetzung der Verkehrsmaßnahmen des NEC-Programms (National Emission Ceilings, RL 2001/81/EG) zur Senkung der NO_x-Emissionen
- Geschwindigkeitsbeschränkungen mit Section Control auf Autobahnen und Schnellstraßen (Flexible Verkehrsbeeinflussung)
- Integration verkehrs- und umweltpolitischer Zielsetzungen in die Raumplanung (-> Vorrang ÖPNV)
- Anreize zum Umstieg auf ÖPNV (ggf. in Kombination mit Car Sharing), Förderung der Fuß- und Radwegeinfrastruktur
- langfristige Maßnahmen: fiskalische Anreize zur Reduzierung des Dieselanteils bei Pkw-Neuzulassungen, Anreize zur vorzeitigen Erfüllung der Emissionsgrenzwerte (EURO 6), Festlegung stringenter EURO VI-Abgasnormen, Förderung der Entwicklung und des Einsatzes NO₂-reduzierender Abgasnachbehandlungssysteme

Zur Maßnahme „Flexible Verkehrsbeeinflussung“ gibt es Untersuchungen im Großraum Graz. Hier wurden entlang der Autobahnen A 2 und A 9 Verkehrsbeeinflussungsanlagen (VBA) errichtet (LAND STEIERMARK (2009)). Damit wurden je nach Belastungssituation mit Luftschadstoffen flexible Tempolimits auf den Autobahnen gesetzt. In LAND STEIERMARK (2009) werden Minderungen durch Temporeduktionen auf die Stickoxid-Emissionen von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen entsprechend der Abbildung 82 aufgeführt.

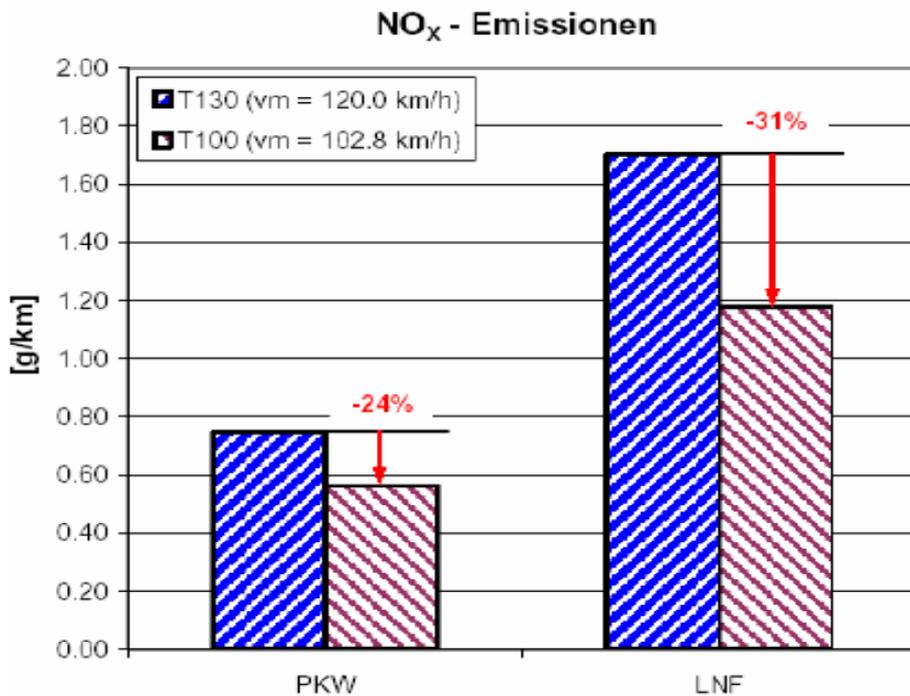


Abbildung 82: Minderung der NO_x-Emissionen bei einer Reduktion von Tempolimits im Großraum Graz; aus: LAND STEIERMARK (2009)

6.2 Luftreinhaltemaßnahmen anderer Städte

Im Jahr 2009 wurden erste Studien zur Wirksamkeit von Umweltzonen veröffentlicht. Im Folgenden werden kurz die Methoden und Ergebnisse der Veröffentlichungen zu den Umweltzonen in Berlin (SENAT BERLIN (2009)) und Köln (LANUV (2009)) bezüglich NO_x bzw. NO₂ beschrieben. Die Auswertung zur Umweltzone München von CYRYS, J.; PETERS, A.; WICHMANN, H. - E. (2009) bezieht sich nur auf die Wirkung im Hinblick auf PM₁₀.

6.2.1 Berlin

Für die Umweltzone Berlin wurden in SENAT BERLIN (2009) umfangreiche Untersuchungen zu Wirkungen auf die Verkehrsströme und Flottenzusammensetzungen angestellt, aus denen dann Wirkungen auf die verkehrsbedingten Emissionen und auf die Luftqualität abgeleitet wurden (Abbildung 83). Die Umweltzone umfasst die Berliner Innenstadt innerhalb des S-Bahnringes ("Großer Hundekopf") und hat eine Fläche von circa 88 km², in der etwa 1 Million der 3.4 Millionen Einwohner Berlins wohnen. In der untersuchten Ausgestaltung der Berliner Umweltzone müssen in der Stufe 1 ab dem 01.01.2008 Fahrzeuge (Lkw und Pkw) mindestens die Anforderungen der Schadstoffgruppe 2 erfüllen.

Bei den Auswertungen von Verkehrsströmen wurden keine Verlagerungen auf Straßen außerhalb der Umweltzone festgestellt. Bei den Änderungen der Flottenzusammensetzung der Kfz wurden deutliche Verbesserungen festgestellt. So wurden an Hand von Kennzeichenerfassungen 50 - 80 % weniger Fahrzeuge mit hohem Schadstoffausstoß (= keine Plakette) sowohl innerhalb als auch außerhalb der Umweltzone gezählt.

Als Ergebnis der Analyse der Luftqualität wurden Minderungen der NO_x-Emissionen um 14 % und der NO_x-Immissionen um 10 % bezogen auf den Jahresmittelwert festgestellt.

Ansätze zur Evaluierung der Umweltzone

1. Wirkung auf den Verkehr

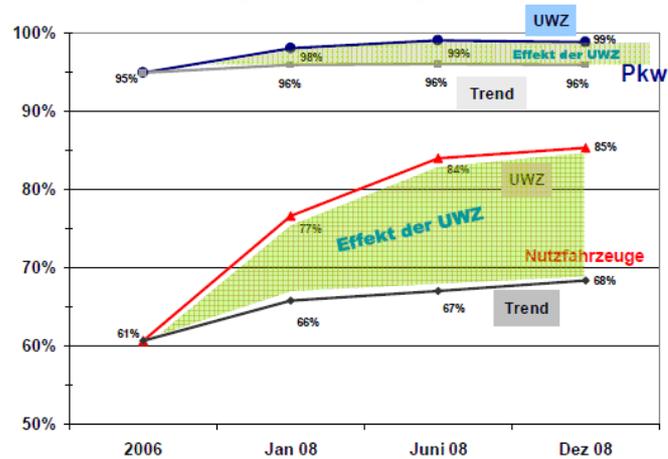
- **Wirkung auf die Verkehrsströme**
 - Rückgang der Verkehrsstärke innerhalb der Umweltzone?
 - Verlagerung auf Strecken außerhalb der Umweltzone?
 - Vermeidung von Kfz-Fahrten?
- **Veränderung der Flottenzusammensetzung**
 - Flottenzusammensetzung nach Zulassungszahlen
 - aktive Flotte auf der Straße innerhalb und außerhalb der Umweltzone

2. Wirkung auf die Luftgüte

- **Veränderung der verkehrsbedingten Emissionen**
 - Modellierung der Auspuffemissionen
 - Vergleich mit bundesweiter Fahrzeugflotte
- **Auswirkung auf die Luftqualität**
 - Auswertung der Messnetzdaten: PM10, Ruß, NO_x
 - Modellierung der Luftqualität mit den veränderten Emissionsdaten

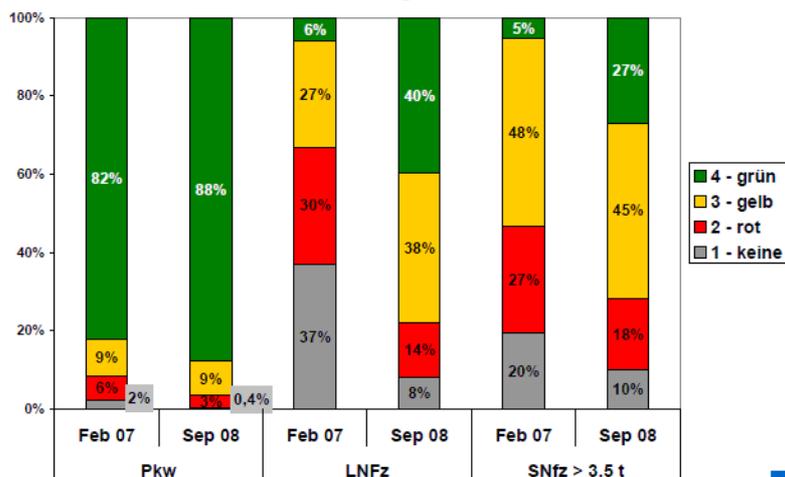
Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz, Referat III D

Anteil der in Berlin zugelassenen Fahrzeuge der Schadstoffgruppen 2, 3 und 4 mit roter, gelber oder grüner Plakette



Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz, Referat III D

Flottenanteile an der Frankfurter Allee vor und nach Einführung der Umweltzone



Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz, Referat III D

15

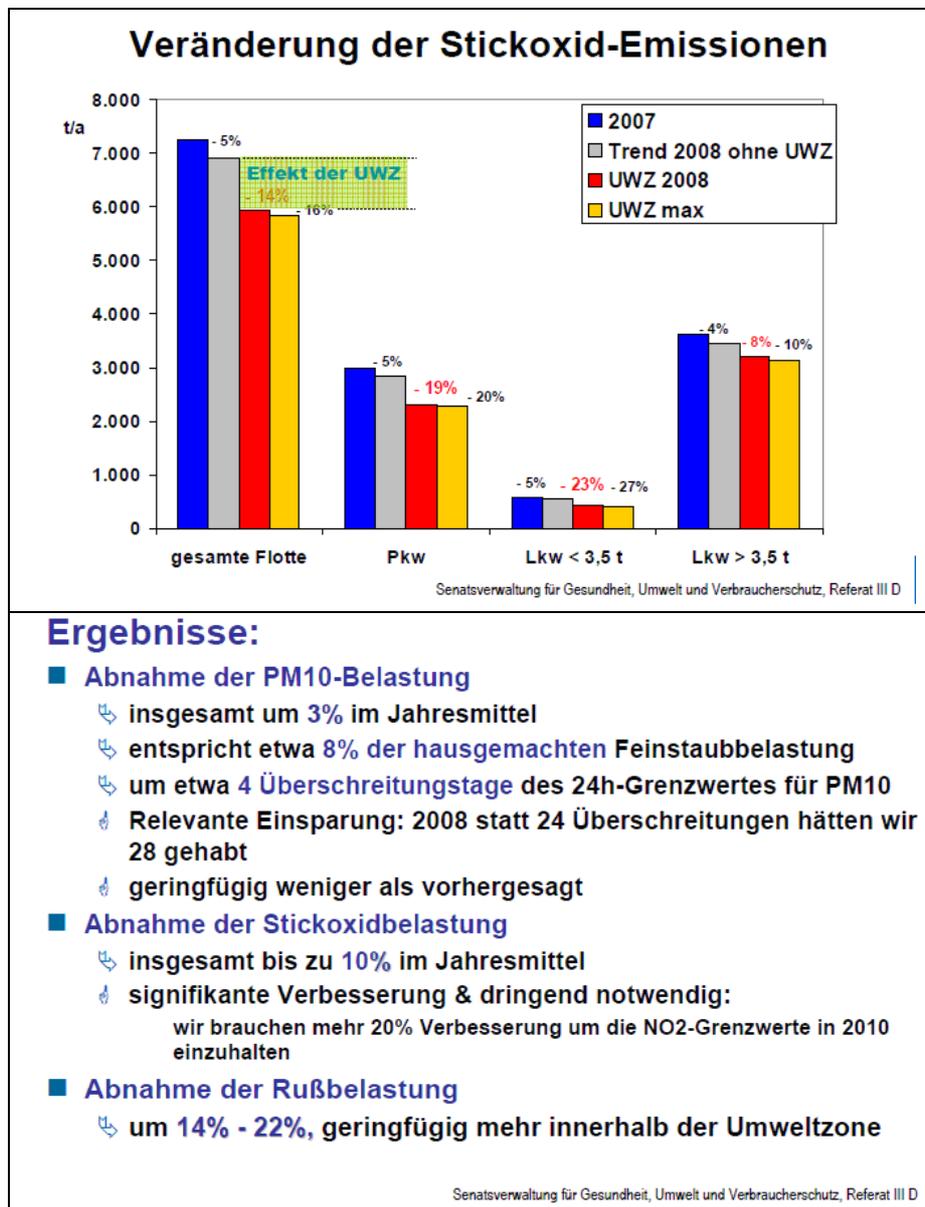
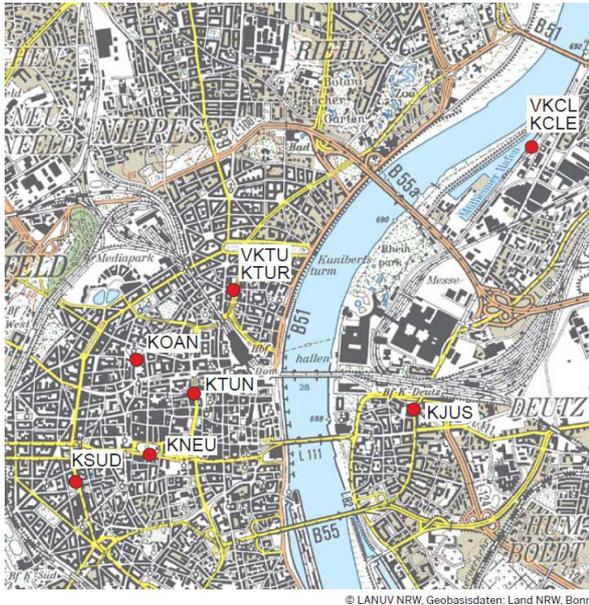


Abbildung 83: Methodik und Ergebnisse der Evaluierung der Wirkungen der Umweltzone in Berlin. Aus: SENAT BERLIN (2009)

6.2.2 Köln

Seit 01.01.2008 gibt es in Köln eine Umweltzone. Sie umfasst die Innenstadt sowie Teile von Deutz und von Mülheim und erlaubt die Einfahrt für Fahrzeuge, die, wie in Berlin, mindestens die Anforderungen der Schadstoffgruppe 2 erfüllen. In LANUV (2009) werden die „Auswirkungen der Umweltzone Köln auf die Stickstoffdioxid-Belastung ... anhand von Messergebnissen des Luftqualitätsmessnetzes (LUQS) im Raum Köln (siehe Abbildung 84) untersucht. Verglichen wurde die Luftqualität von gleichen Zeiträumen vor Einführung der Umweltzone (2007) und nach ihrer Einführung (2008) an insgesamt sechs Messpunkten mit hoher Verkehrsbelastung für NO₂ ... im Bereich der Umweltzone. Die Entwicklung der Luftqualität an den Belastungsschwerpunkten wurde mit der an urbanen Hintergrundstationen im Raum Köln verglichen, um meteorologiebedingte großräumige Belastungsunterschiede zwischen den Jahren 2007 und 2008 zu berücksichtigen.“

Die Auswertungen des LANUV belegen anhand der NO₂-Messdaten einen Rückgang der Belastung im Mittel um 1.5 % als Effekt der Einführung der Umweltzone.



Station	Adresse
VKCL, KCLE	Clevischer Ring 3
VKTU, KTUR	Turiner Straße 2
KOAN	Gereonsdriesch 21
KTUN	Tunisstraße/Elstergasse
KSUD	Hohenstaufenring 57a
KNEU	Neumarkt 25
KJUS	Justinianstraße 17

Abbildung 84: Messstellen in der Innenstadt von Köln; aus: LANUV (2009)

6.3 Potenziale und Wirksamkeit eines umweltsensitiven Verkehrsmanagements

Wie in Kapitel 6.1 beschrieben, werden Maßnahmen zur Optimierung des Verkehrsflusses am zweithäufigsten als Maßnahme in den Luftreinhalteplänen in Deutschland genannt. Auf dem 2. Freiburger Workshop Luftreinhaltung und Modelle wurden die „Möglichkeiten eines umweltsensitiven Verkehrsmanagements zur Reduktion der innerstädtischen Umweltbelastung“ (GÄBLER, G. (2009)) und ein „Online-Monitoring der Verkehrs- und Umweltbelastungen im Straßennetz und die Wirkungen von verkehrlichen Maßnahmen in Berlin“ (GIEHLER, R. (2009)) vorgestellt und diskutiert. Die Vortragsunterlagen der beiden Vorträge sind diesem Bericht als Anlage beigefügt (Anlagenband, Kapitel 3 und Kapitel 4).

GÄBLER, G. (2009) zeigt in seinem Vortrag das Potenzial von Verkehrsmaßnahmen zur Reduzierung der Luftschadstoffbelastungen auf und beschreibt die Notwendigkeit, dass gerade bei temporären verkehrlichen Maßnahmen die räumlichen Effekte der jeweiligen Maßnahme überwacht werden müssen. Diese Überwachung kann mit Hilfe eines Monitoringsystems erfolgen. Der Vortrag beschreibt die Anforderungen, die an ein solches System gestellt werden, damit es für Planung, operativen Betrieb und Archivierung innerhalb eines umweltsensitiven Verkehrsmanagements verwendet werden kann. Verkehrsmanagementsysteme sind mittlerweile in vielen Städten verbreitet und werden dort vornehmlich für die Steuerung und das Management des Verkehrsaufkommens eingesetzt. Die Berücksichtigung von Umweltaspekten wie z. B. der Luftqualität und der Lärmbelastung durch ein entsprechendes Monitoringsystem führt zu einem umweltsensitiven Betrieb der Verkehrsmanagementsysteme. Als konkrete Umsetzung der genannten Anforderungen wird das Online-Monitoringsystem IMMIS^{mt} vorgestellt, das im Rahmen von Forschungsprojekten iQ mobility (BEER, M.; GARBEN, M. (2008)) und UVM-BS (IVU UMWELT (2009D)) eingesetzt und hinsichtlich seiner Einsatzfähigkeit validiert wurde bzw. wird.

Ergebnisse aus dem Monitoring im Projekt UVM-BS (Umweltsensitives Verkehrsmanagement Braunschweig, IVU UMWELT (2009D)) zeigen, dass die planerisch ermittelten Wirkungen bezogen auf einen Hotspot und das Wirkungsumfeld der Maßnahmen durch die durchgeführten Testphasen bestätigt werden. Das Projekt wird seit Sommer 2010 fortgeführt.

In GIEHLER, R. (2009) wird die Entwicklung des umweltorientierten Verkehrsmanagements in Berlin im Rahmen des Verbundprojekts iQ mobility und die Erprobung in einem Feldtest in der Leipziger Straße in Berlin beschrieben. Aufbauend auf den vorhandenen Infrastrukturen wurde ein Qualitätsmodul zur Online-Überwachung der verkehrlichen und der umweltseitigen Auswirkungen von verkehrsorganisatorischen Maßnahmen umgesetzt. Die Online-Überwachung dient zum einen als Grundlage für die Auswahl geeigneter Maßnahmen und zum anderen zur Erfolgskontrolle. Die Wirkungen unterschiedlicher situativ angepasster Maßnahmen wurden evaluiert und die Grenzen und Möglichkeiten von Verkehrssteuerungsmaßnahmen zur Reduzierung der Luft- und Lärmbelastungen aufgezeigt. Insbesondere wurden dabei die Wechselwirkungen zwischen verkehrlichen und umweltseitigen Einflussgrößen betrachtet.

Als Ergebnis des Feldversuchs zeigt der Vortrag, „dass eine Verbesserung des Verkehrsflusses zu einer deutlichen Reduzierung der verkehrsbedingten Luftschadstoffimmissionen führt. Für die Verbesserung des Verkehrsflusses wurden verschiedene Maßnahmen mit unterschiedlicher Eingriffsschwere an (Koordination, Grünzeitdehnung, Zuflussdosierung) insbesondere in den Spitzenzeiten des Verkehrs untersucht. ... Im Mittel kann die ... NO₂-Zusatzkonzentration bis zu ... 10 % gemindert werden. Im Maximum bis 17 %.“ Seit Abschluss des Projekts im Mai 2008 wird der Betrieb des Systems in Berlin weitergeführt und in Zukunft weiter ausgebaut.

Eine weitere Studie mit dem Titel „Feinstaub und NO₂ – Entwicklung und Validierung einer Methode zur immissionsabhängigen dynamischen Verkehrssteuerung“ liegt als Forschungsbericht gefördert durch das Umweltbundesamt vor (LUDES et al (2008)). Eine messtechnische Auswertung in diesem Projekt zeigte „keine signifikanten Minderungen der NO₂, NO, PM₁₀ und PM_{2,5} Massenkonzentrationen“. Als Gründe dafür wurden „unter anderem .. die zumeist sehr geringe Befolgungsrate (ca. 10% im Mittel, max. ca. 30%) der Steuerungssignale (LKW-Sperrung)“ genannt. Daraufhin wurde „mit Hilfe von Simulationsrechnungen ... nachgewiesen ... , dass eine dynamische immissionsabhängige Verkehrssteuerung des Schwerlastverkehrs das Potenzial aufweist,

- hohe NO₂-Immissionswerte deutlich zu mindern,
- die Zahl der PM₁₀-Überschreitungstage zu verringern,
- NO₂-, PM₁₀- und PM_{2,5}-Mittelwerte geringfügig abzusenken.“

Um die Anwendbarkeit eines umweltsensitiven Verkehrsmanagements für sächsische Hotspots überprüfen zu können, sind die jeweiligen lokalen Gegebenheiten auszuwerten und ist eine entsprechende individuelle Planung erforderlich. Dazu gehören Analysen über das aktuelle Verkehrsgeschehen unter besonderer Berücksichtigung des vorhandenen Störungsgrads im Verkehr und einer eventuell vorhandenen Lichtsignalkoordination bzw. Bevorrechtigungen. Für die temporären verkehrlichen Maßnahmen eines umweltsensitiven Verkehrsmanagements müssen entweder Alternativrouten vorhanden sein, oder es muss die Möglichkeit bestehen, eventuelle Störungen in unsensiblere Bereiche verlagern zu können.

6.4 Schlussfolgerungen

Für die weitere Luftreinhalteplanung in Sachsen lässt sich feststellen, dass die Entwicklung der NO₂-Belastung in Sachsen denselben Trends folgt wie im Bundesgebiet. Das Belastungsniveau an den Hotspots in Sachsen liegt im bundesdeutschen Vergleich eher im mittleren Bereich. Aktuelle maximale NO₂-Belastungen liegen mit bis zu 54 µg/m³ zwar klar über dem Grenzwert von 40 µg/m³, aber Verhältnisse von Jahresmittelwerten jenseits von 60 µg/m³, d.h. 50 % über dem Grenzwert, treten in Sachsen z.z. nicht auf. Die Randbedingungen zur Erlangung einer Fristverlängerung von Seiten der EU sind prinzipiell gegeben.

Die vorliegenden Auswertungen bestätigen die Ergebnisse der Verursacheranalysen der Grenzwertüberschreitungen beim Jahresmittelwerte von NO₂. Unter Berücksichtigung der neuen Angaben des HBEFA 3.1 mit aktuell höheren NO_x-Emissionen und NO₂-Direktemissionen der Kfz-Flotte als bisher angenommen muss davon ausgegangen werden, dass der Verkehrsbeitrag über den bisherigen Annahmen liegt.

Dementsprechend bekommen Maßnahmen, die zur Reduktion des Verkehrsbeitrags führen, eine nochmals höhere Bedeutung bei der zukünftigen Einhaltung der Grenzwerte. Die Prognosen des HBEFA 3.1 bis 2015 (Kapitel 5.2) zeigen, dass die zu erwartende Erneuerung der Kfz-Flotte nicht entscheidend zur notwendigen Minderung beitragen wird. Erst der massive Einsatz von Euro 6 Fahrzeugen, die dann auch im innerstädtischen Realbetrieb eine Minderung entsprechend der EU-Gesetzgebung erreichen, kann eine signifikante Minderung bedeuten. Als sofort wirkende Maßnahme hat aber auch unter Berücksichtigung des neuen HBEFA 3.1 die Umweltzone ihre Berechtigung, wobei die Zielrichtung der entsprechenden Kennzeichenverordnung eigentlich auf PM₁₀ zielt.

Um also bis 2015 bedeutende Minderungen der Kfz-bedingten NO₂-Belastung erreichen zu können, sind weitere Maßnahmen erforderlich. Diese kurzfristig zu aktivierenden Maßnahmen können z. B. auf einer Optimierung des Verkehrsflusses und damit einhergehenden Emissionsminderungen und auf einer dauerhaften oder temporären Minderung der Kfz-Belastung basieren. Zu ihrer Einrichtung ist eine individuelle Planung erforderlich, die die jeweiligen lokalen Gegebenheiten berücksichtigt. Bei einer dauerhaften Verkehrsentlastung müssen entweder räumliche Verlagerungen des Verkehrs oder Änderungen des modal splits aktiviert werden. Temporäre Maßnahmen können z. B. in Kombination mit Verkehrsmanagementmaßnahmen und -systemen dazu führen, dass bei ungünstigen meteorologischen oder verkehrlichen Bedingungen Verkehrsströme und Verkehrsstörungen

auf alternative Routen mit geringerer Sensibilität temporär verlagert werden. Sowohl bei dauerhaften als auch bei temporären Maßnahmen muss bei der Verlagerung des Verkehrs in der Planung und nach der Umsetzung kontrolliert werden, ob negative Folgewirkungen für die Luftqualität entlang der Alternativrouten zu erwarten sind bzw. auftreten.

7 Zusammenfassung

Der Endbericht gibt einen Überblick über die gesamten Arbeiten im Projekt „Tendenzen und Verursacher für die NO₂-Belastung in Sachsen“. Er basiert auf den beiden zum Projekt bereits vorgelegten Zwischenberichten (IVU UMWELT (2009A) und IVU UMWELT (2009B)) und führt die dort durchgeführten Arbeiten mit aktuellen Daten weiter. Zudem greift er die Ergebnisse aus den beiden Zwischenberichten noch einmal auf. Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse zusammengefasst dargestellt.

Mit Hilfe einer Clusteranalyse konnte gezeigt werden, dass die Klassifizierung der sächsischen Messstationen gut mit den Eol-Vorgaben der EU übereinstimmt. Als bester Indikator für Verkehrsstationen wurde die Messzeitreihen von NO identifiziert. Die Messgrößen NO₂ und Ozon zeigen in der Clusteranalyse eine komplexere Struktur, die sich teilweise durch geographische Einflüsse erklären lässt. Im Endericht wurde die Clusteranalyse für NO mit aktualisierter Datengrundlage wiederholt. Die Ergebnisse stimmen wie im 1. Zwischenbericht gut mit der Eol-Klassifizierung der Messstationen überein. Die Stabilität der Ergebnisse gegenüber dem Auswertez Zeitraum konnte erneut gezeigt werden, sodass die Ergebnisse der Clusteranalyse über den aktuellen Zeitraum, die alle im Jahr 2009 messenden Stationen enthält, als gültig betrachtet werden können.

Durch die Anwendung eines Mann-Kendall-Tests konnten signifikante Trends in den stündlichen Messzeitreihen von bis zu 16 Jahren identifiziert werden. NO_x und NO₂ zeigen an den meisten Stationen eine signifikante Trendabnahme, werden Trendzunahmen ausgegeben, so sind diese als nicht signifikant klassifiziert. Auch die im 1. Zwischenbericht als signifikant ermittelte Trendzunahme für NO₂ an der Station Leipzig-Mitte wird auf Basis der aktualisierten Datengrundlage nur noch als nicht signifikant eingestuft. Für Ozon zeigt die Trendanalyse im Allgemeinen einen signifikant steigenden Trend über den Gesamtzeitraum an. Dabei steigt Ozon an den meisten Stationen bis etwa 2004-2006 tendenziell an, um seitdem zu fallen. Dementsprechend zeigen Stationen, die erst ab etwa dem Jahr 2000 messen, häufig einen abwärts gerichteten Trend an, der meist nicht signifikant ist. Das NO₂/NO_x-Verhältnis nimmt an 60 % der Verkehrsstationen signifikant zu. Dabei überschätzt der Romberg-Ansatz dieses Verhältnis bei Stationen mit niedrigem NO₂-Konzentrationsniveau stärker, während bei hohem Niveau Messung und Romberg-Ansatz im Mittel gut übereinstimmen.

Bei der Regressionsanalyse der Jahresmittelwerte in Sachsen von 1995 bis 2009 werden die bereits mit dem Mann-Kendall-Test bestimmten abnehmenden Trends bei NO_x und NO₂ bestätigt. Die Trendgerade der kontinuierlich messenden Verkehrsstationen hat eine Steigung von -0.5 (µg/m³)/Jahr, d. h., dass im Trend die NO₂-Belastung von 2009 bis 2015 nur um 3 µg/m³ abnehmen wird, sodass z. B. an den Hotspots Dresden-Bergstraße und Leipzig-Lützner Straße auch unter Berücksichtigung der Fristverlängerung Überschreitungen im Jahr 2015 drohen, sofern nicht geeignete Maßnahmen zur Verminderung der Belastung ergriffen werden. In Chemnitz-Leipziger Straße war – auch in Folge der gesunkenen Verkehrszahlen und des Abrisses von Gebäuden – ein größerer Rückgang zu verzeichnen. Ein Vergleich mit bundesweiten Trends auf der Basis von vom Umweltbundesamt zur Verfügung gestellten Jahreszeitreihen zeigt eine gute Übereinstimmung der Entwicklungen an den sächsischen und bundesweiten Verkehrsstationen.

Der rein statistische Romberg-Ansatz zur modellhaften Ermittlung des NO₂-Jahresmittelwerts aus einem NO_x-Wert zeigt bezogen auf den Mittelwert je Stationsklasse, dass bei verkehrsbezogenen Stationen der NO₂-Jahresmittelwert eher überschätzt wird. Eine weiterführende Analyse zeigt aber, dass bei sehr hohen Konzentrationswerten die Gefahr einer Unterschätzung durch den Romberg-Ansatz droht⁷. Aktuell veröffentlichte Ansätze der NO₂-Ermittlung unter Berücksichtigung der Photochemie und der NO₂-Direktemissionen scheinen dieses Manko auszugleichen.

⁷ Siehe dazu Abbildung 16 auf Seite 32

Eine Korrelationsanalyse der verkehrlichen und meteorologischen Einflußgrößen auf die NO₂-Konzentrationen an den beiden Hotspots Dresden-Bergstraße und Leipzig-Lützner Straße zeigt, dass die Kfz-Belastung die mit Abstand höchste Korrelation zur NO₂-Zusatzbelastung aufweist. Die meteorologischen Größen Strahlung, Temperatur und Feuchte korrelieren mit dem photochemischen Gleichgewicht und zeigen damit auch eine Korrelation zur NO₂-Belastung.

Das in Sachsen betriebene Messnetz für NO₂-Konzentrationen dient neben der Überwachung von Hotspots auch der Darstellung der landesweiten Immissionssituation. Um auch Bereiche mit geringer Messdichte mit plausiblen Daten aufzufüllen, können Interpolationen der Messdaten mit Modellrechnungen auf der Basis von Emissionskatastern und meteorologischen Daten verknüpft werden. Entsprechende Verfahren zeigen für das Messnetz in Sachsen eine Informationslücke im Südwesten des Landes⁸.

Ein Vergleich der sächsischen Kfz-Bestandsdaten mit den Flottenzusammensetzungen des HBEFA 3.1 zeigt deutliche Unterschiede in der Aufteilung in Benzin- und Diesel-Pkws und in den Emissionsstufen, die sich auf die Emissionsbestimmung für NO_x und NO₂ auswirken dürften. Hinsichtlich der Antriebsartanteile bei leichten Nutzfahrzeugen lässt sich folgern, dass diese für die höhere Gewichtsklasse in Sachsen gut mit dem Bundesdurchschnitt übereinstimmt, die niedrigere Klasse enthält jedoch in Sachsen mehr Benzin-Fahrzeuge als der Bundesdurchschnitt. Bei schweren Nutzfahrzeugen kann insgesamt festgestellt werden, dass der effektive Gesamt-Emissionsfaktor für 2009 aus dem HBEFA 3.1 die Situation für die beiden sächsischen Städte recht gut wiedergibt.

Eine globale Zuordnung von Verkehrssituationen in der Bergstraße in Dresden und in der Lützner Straße in Leipzig zum Verkehrssituationsschema des HBEFA 3.1 führt zum Ergebnis, dass die Bergstraße als Teil der Bundesstraße 170 und wegen des Tempolimits von 50 km/h als Agglomeration, Hauptverkehrsstraße mit Tempolimit 50 km/h in das Schema des HBEFA 3.1 eingeordnet wird. Bei der Lützner Straße handelt es sich um eine Bundesstraße mit Tempolimit 50 km/h, die wie die Bergstraße in Dresden dem Straßentyp Agglomeration, Hauptverkehrsstraße zugeordnet würde. Die der Zuordnung zu Grunde liegenden Fahrverhaltensmessungen der TU Dresden zeigen aber grundsätzlich für beide Straßen große richtungs- und abschnittsbezogene, in der Lützner Straße auch tageszeitabhängige Unterschiede. Daher wurden den verschiedenen Richtungen, Abschnitten und Zeiten auch individuell HBEFA-Verkehrssituationen zugeordnet.

Ein weiterer Diskussionspunkt ist der Einfluss des Transitverkehrs von ausländischen schweren Nutzfahrzeugen auf die NO_x-Emissionen. Bei der Berechnung der Emissionen könnte der Einfluss der ausländischen Fahrzeuge dadurch berücksichtigt werden, dass die Flottenzusammensetzung der schweren Nutzfahrzeuge für den ausländischen Anteil nach Emissionsstufen gegenüber der Zusammensetzung der inländischen Fahrzeuge künstlich „gealtert“ wird. Aus einem Vergleich der NO_x-Emissionen der verschiedenen Größenklassen und Emissionsstufen wird jedoch deutlich, dass das Verhältnis SCR/EGR mindestens so bedeutend ist, wie die Frage des Anteils ausländischer Fahrzeuge.

Im Zusammenhang mit den Bestrebungen zur Reduzierung der CO₂-Emissionen kommt zukünftig auch den Biokraftstoffen eine wachsende Bedeutung zu. Das HBEFA 3.1 enthält Emissionsfaktoren für Pkw mit Benzinmotor der Emissionsstufen Euro 4 bis 6 für Bioethanol E85. Für Biodiesel sind im HBEFA keine Emissionsfaktoren vorhanden, weil die verfügbaren Daten zu unsicher waren. Die Literaturrecherche hinsichtlich der Auswirkung der Verwendung von Biodiesel auf die NO_x-Emissionen ergab ein uneinheitliches Bild.

Ein bedeutender Parameter für die Höhe der Schadstoffemissionen ist die Fahrbahnlängsneigung. Das Handbuch stellt Emissionsfaktoren für Längsneigungsklassen zwischen -6 % bis +6 % mit Klassenbreiten von 2 % zur Verfügung. Auswertungen für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge zeigen, dass die Emissionsfaktoren für Steigungen größer als +/-6 % durch Polynome 3. Grades gut approximiert werden können, dass aber auch große Unterschiede zwischen den Verkehrszuständen bestehen. Bei den schweren Nutzfahrzeugen kann man keine einheitlichen Approximationskurven für den gesamten Längsneigungsbereich verwenden, sondern muss zwischen Steigung und Gefälle unterscheiden.

Vergleiche der Prognosen der modellierten kfz-bedingten NO_x-Emissionen für Dresden-Bergstraße und Leipzig-Lützner Straße zeigen, dass die NO_x-Emissionen nach dem neuen HBEFA 3.1 ab 2000 deutlich über denjenigen nach dem alten HBEFA 2.1 liegen und erst 2020 ein vergleichbares Niveau erreicht wird. Die Berücksichtigung der sächsischen Flotte dämpft die Unterschiede zwischen den beiden HBEFA-Versionen, da die Unterschiede vor allem bei Diesel-Fahrzeugen entstehen, deren

⁸ Im Januar 2011 wurde zur Schließung dieser Lücke eine Messstation in der Gemeinde Brockau in Betrieb genommen.

Anteil in Sachsen im Vergleich zur HBEFA-Flotte niedriger ist. Bei den NO₂-Direktemissionen ist nach HBEFA 3.1 das Maximum mit der HBEFA-Flotte im Jahr 2010 und mit der sächsischen Flotte von 2010 bis 2015 erreicht, um dann mit Einführung von Euro 6 unter die entsprechenden Abschätzungen gemäß HBEFA 2.1 zu fallen.

In drei sächsischen Städten (Leipzig, Dresden, Chemnitz) wird der Grenzwert für das NO₂-Jahresmittel 2010 nicht eingehalten, sodass die Luftreinhaltepläne fortgeschrieben und Maßnahmen zur Grenzwerteinhaltung bis spätestens 2015 ausgearbeitet werden müssen. Wie in allen bis dato veröffentlichten Luftreinhalteplänen in Deutschland wird als Hauptverursacher von NO₂-Grenzwertüberschreitungen der Kfz-Verkehr identifiziert. Dementsprechend sind fast 80 % der vorgeschlagenen Maßnahmen zur Reduzierung der NO₂-Belastung verkehrsbezogen. Erste Untersuchungen der in Berlin und Köln eingerichteten Umweltzonen zeigen Minderungen der Jahresmittelwerte von bis zu 10 % (NO_x) in Berlin bzw. 1.5 % (NO₂) in Köln. Um bis 2015 bedeutende Minderungen der kfz-bedingten NO₂-Belastung erreichen zu können, sind weitere Maßnahmen erforderlich. Diese kurzfristig zu aktivierenden Maßnahmen können z. B. auf einer Optimierung des Verkehrsflusses und damit einhergehenden Emissionsminderungen und auf einer dauerhaften oder temporären Minderung der Kfz-Belastung basieren. In aktuellen Forschungsprojekten wird das Potenzial einer umweltsensitiven Verkehrssteuerung als weitere verkehrliche Maßnahme mit lokaler Minderungswirkung auf den Jahresmittelwert mit bis zu 10 % abgeschätzt, wobei das Wirkungsumfeld einer solchen Maßnahme berücksichtigt werden muss. Die Ausgestaltung konkreter Maßnahmen und deren Wirksamkeit bedarf dabei einer individuellen Planung, die die lokalen Gegebenheiten berücksichtigen muss.

8 Literaturverzeichnis

- BAST (2007): MARLIS - Maßnahmen zur Reinhaltung der Luft in Bezug auf Immissionen an Straßen.
http://www.bast.de/nn_42544/DE/Publikationen/Datenbanken/MARLIS/MARLIS.html, 06.02.2007.
- BAST (2009): MARLIS - Maßnahmen zur Reinhaltung der Luft in Bezug auf Immissionen an Straßen, Version 2.0.
http://www.bast.de/nn_42544/DE/Publikationen/Datenbanken/MARLIS/MARLIS.html, 08.10.2010.
- BEER, M.; GARBEN, M. (2008): Ergebnisse von integrierten Verkehrsmanagementmaßnahmen in Berlin. In: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (Hrsg.): Verkehrsmanagement und Verkehrstechnologien. Mobile Zukunft mit intelligenten Verkehrssystemen. 2008.
- CYRYS, J.; PETERS, A.; WICHMANN, H. - E. (2009): Umweltzone München - Eine erste Bilanz. Umweltmed Forsch Prax 14 Nr. 3, S. 127-132. 2009.
- DIEGMANN, V. (2009): Anwendungen von FLADIS - Kopplung von Messnetz- und Modelldaten. 2. Freiburger Workshop "Luftreinhaltung und Modelle", 22.-23.6.2009, IVU Umwelt GmbH, Freiburg. 2009.
- EIONET (2009): European Topic Centre on Air and Climate Change. AirBase - The European Air Quality Database, <http://air-climate.eionet.europa.eu/databases/airbase/>
- EEA, COPENHAGEN (2009): European Environment Agency, <http://www.eea.europa.eu>
- GÄBLER, G. (2009): Möglichkeiten eines umweltsensitiven Verkehrsmanagements zur Reduktion der innerstädtischen Umweltbelastung. 2. Freiburger Workshop "Luftreinhaltung und Modelle", 22.-23.6.2009, IVU Umwelt GmbH, Freiburg. 2009.
- GIEHLER, R. (2009): Online-Monitoring der Verkehrs- und Umweltbelastungen im Straßennetz und die Wirkungen von verkehrlichen Maßnahmen in Berlin. 2. Freiburger Workshop "Luftreinhaltung und Modelle", 22.-23.6.2009, IVU Umwelt GmbH, Freiburg. 2009.
- HIPPEL, K.W. & A.I. MCLEOD (2005): Time Series Modelling of Water Resources and Environmental Systems. Electronic reprint of our book originally published in 1994.
- ILLGEN, P. & W. SCHMIDT (2006): Konzeption eines Fachinformationssystems „Umwelt und Verkehr“. Zwischenbericht zum Eigenforschungsprojekt, August 2006.
- INFRAS (2004): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs. HBEFA Version 2.1. Bern, 2004.

- INFRAS (2010): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs. HBEFA Version 3.1. Dokumentation in Vorbereitung. Bern, 2010.
- IVU UMWELT (2002): Automatische Klassifizierung der Luftschadstoff-Immissionsmessungen aus dem LIMBA-Meßnetz. FE-Vorhaben FKZ 200 42 265. Im Auftrag des Umweltbundesamtes.
- IVU UMWELT (2005): Ursachenanalyse für den Anstieg der NO₂-Immissionen an verkehrsnahen Messstellen. Endbericht. Auftraggeber: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie.
- IVU UMWELT (2006A): FLADIS Handbuch zu Version 3.0. IVU Umwelt GmbH, Freiburg.
- IVU UMWELT (2006B): Darstellung der landesweiten Immissionssituation in NRW auf der Basis von LUQS- und EURAD-Daten mit FLADIS. Im Auftrag des Landesumweltamtes Nordrhein-Westfalen.
- IVU UMWELT (2008): IMMIS^{em/luft/lärm} - Handbuch zur Version 4.0. IVU Umwelt GmbH Freiburg. 2008.
- IVU UMWELT (2009A): Tendenzen und Verursacher für die NO₂-Belastung in Sachsen. 1. Zwischenbericht. Unter Mitarbeit von TÜV Nord. Im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.
- IVU UMWELT (2009B): Tendenzen und Verursacher für die NO₂-Belastung in Sachsen. 2. Zwischenbericht. Unter Mitarbeit von TÜV Nord. Im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.
- IVU UMWELT (2009C): Erneute Aktualisierung der Bestandsaufnahme der Luftreinhalte- und Aktionspläne. FKZ 363 01 194. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. 2009.
- IVU UMWELT (2009D): Umweltorientiertes Verkehrsmanagement Braunschweig. Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung (BMVBS) im Rahmen der Förderinitiative "Mobilität 21 - Kompetenznetzwerk für innovative Verkehrslösungen". Unter Mitarbeit von BELLIS GmbH Braunschweig, BLIC GmbH Berlin und VMZ Berlin Betreibergesellschaft mbH. 2009.
- IVU UMWELT (2010): IMMIS^{em/luft/lärm} - Handbuch zur Version 5. IVU Umwelt GmbH Freiburg. 2010.
- iQ MOBILITY (2008): Feldversuche im Rahmen des von der Berliner Senatsverwaltung für Stadtentwicklung federführend durchgeführten und vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderten Projektes iQ mobility, März 2008.
- JANICKE (2007): LASAT 3.0 Dispersion Modell. Reference Book. Janicke Consulting.
- KBA Fz1 (2010): Fahrzeugzulassungen. FZ1: Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Zulassungsbezirken. Kraftfahrt-Bundesamt, 1. Januar 2010.
- KBA Fz13 (2010): Fahrzeugzulassungen. FZ13: Bestand an Kraftfahrzeugen nach Emissionen und Kraftstoffen. Kraftfahrt-Bundesamt, 1. Januar 2010.
- KBA Fz15 (2010): Fahrzeugzulassungen. FZ15: Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Fahrzeugalter. Kraftfahrt-Bundesamt, 1. Januar 2010.
- KRAFTFAHRT-BUNDESAMT (2010A): Statistische Mitteilungen, Reihe 2, Fahrzeugbestand, Sonderheft 1, Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern am 1. Januar 2010 nach Zulassungsbezirken.
- KRAFTFAHRT-BUNDESAMT (2010B): Statistische Mitteilungen, Fahrzeugzulassungen Bestand Fahrzeugalter, 1. Januar 2010.
- KRDL (2000): Umweltmeteorologie. Atmosphärische Ausbreitungsmodelle. VDI-Richtlinie 3945 Blatt 3. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL.
- KRDL (2009): Planung von Immissionsmessungen - Ermittlung der Unsicherheit räumlicher Beurteilungen der Luftqualität. VDI-Richtlinie 4280 Blatt 5. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL.
- KURTENBACH et al. (2009): Kurtenbach, R.; Becker, K. - H.; Bruckmann, P.; Kleffmann, J.; Niedojadlo, A.; Wiesen, P.: Das innerstädtische "Stickstoffdioxid (NO₂)-Problem". Welchen Einfluss haben direkte Verkehrsemissionen? Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft 69 Nr. 4, S. 146-149. 2009.
- LAMBRECHT, U. (2006): Ursachen der hohen NO₂-Belastung in Innenstädten. Beitrag von primärem NO₂ aus dem Abgas und der Ozonchemie. S. 25-35. In: Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL (Hrsg.): KRdL-

- Expertenforum "Feinstaub und Stickstoffdioxid". KRdL-Schriftenreihe Band 36. Düsseldorf, 2006. ISBN 978-3-931384-55-5.
- LAND STEIERMARK (2009): Gemeindeinformation zum Thema Feinstaub PM10, http://www.umwelt.steiermark.at/cms/dokumente/11118724_8549963/72474259/PM10%20Information_Luftreinkhaltung_Graz.pdf, Graz, 29.6.2009.
- LANUV (2009): Auswirkungen der Umweltzone Köln auf die Luftqualität. Auswertung der Messdaten. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV). 2009.
- LRP CHEMNITZ (2008): Luftreinhalteplan für die Stadt Chemnitz. Regierungspräsidium Chemnitz, 2008.
- LRPAP DRESDEN (2008): Luftreinhalte- und Aktionsplan für die Stadt Dresden. Regierungspräsidium Dresden, 2008.
- LRP GÖRLITZ (2008): Luftreinhalteplan für die Stadt Görlitz. Regierungspräsidium Dresden, 2008.
- LRP LEIPZIG (2005): Luftreinhalteplan für die Stadt Leipzig. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, 2005.
- LRP LEIPZIG (2009): Luftreinhalteplan für die Stadt Leipzig. Fortschreibung Stadt Leipzig, 2009.
- LRP PLAUEN (2009): Luftreinhalteplan für die Stadt Plauen. Landratsamt Vogtlandkreis, 2009.
- LUDES ET AL (2008): Feinstaub und NO₂-Entwicklung und Validierung einer Methode zur immissionsabhängigen dynamischen Verkehrssteuerung. Forschungsbericht 205 45 130. Abschlussbericht. Veröffentlichung 2010 in der Reihe UBA-Texte, Nr. 25/2010. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. 2008.
- MUNACK et al. (2003): Munack, A., Capan, E., Schröder, O., Stein, H., J. Krahl: Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben Untersuchung von Biodiesel und seinen Gemischen mit fossilem Dieseldieselkraftstoff auf limitierte Emissionen. Gefördert durch die Arbeitsgemeinschaft Qualitätsmanagement Biodiesel e.V. Braunschweig und Coburg, Dezember 2003.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2007): R: A Language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, <http://www.R-projekt.org>.
- ROMBERG, E., R. BÖSINGER, A. LOHMEYER, R. RUHNKE, E. RÖTH. (1996): NO-NO₂-Umwandlungsmodell für die Anwendung bei Immissionsprognosen für Kfz-Abgase. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 56 Nr. 6, S. 215-218.
- ROTHE, D. (2005): Physikalische und chemische Charakterisierung der Rußpartikelemission von Nutzfahrzeugdieselmotoren und Methoden zur Emissionsminderung. Dissertation TU München 2005.
- SENAT BERLIN (2009): Untersuchungen zur Wirkung der Berliner Umweltzone. Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz Berlin, Referat III D. 2009.
- STEIN et al. (2003): Stein, H., Munack, A., Dutz, M., Krahl, J., O. Schröder: Emissionsvergleich von Biodiesel mit schwedischem Dieseldieselkraftstoff MK1, Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 239, 2003.
- TU DRESDEN (2006A): Messtechnische Erfassung von Verkehrssituationen und Verkehrsbelegungen auf städtischen Hauptstraßen, Teil 1: Bergstraße Dresden. Technische Universität Dresden, Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“, Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr, 2006.
- TU DRESDEN (2006B): Messtechnische Erfassung von Verkehrssituationen und Verkehrsbelegungen auf städtischen Hauptstraßen, Teil 2: Lützner Straße Leipzig. Technische Universität Dresden, Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“, Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr, 2006.
- UBA 2009: Entwicklung der Luftqualität in Deutschland. Hintergrund. Umweltbundesamt. 2009.
- UBA ÖSTERREICH (2008): Auswirkungen der NO₂-Emissionen bei Diesel-Kfz auf die Immissionsbelastung. Umweltbundesamt Österreich. Report REP-0135. Wien, 2008.
- WIEGAND, G.; YAMARTINO, R. J. (1986): Development and Evaluation of Simple Models for the Flow, Turbulence and Pollutant Concentration Fields within an Urban Street Canyon. Atmospheric Environment 20 Nr. 11, 2137-2156.
- YUE, S. & C.Y. WANG (2004): The Mann-Kendall Test Modified by Effective Sample Size to Detect Trend in Serially Correlated Hydrological Series. Water Resources Management, Vol. 18 No. 3 201-218.

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)
Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden
Telefon: + 49 351 2612-0
Telefax: + 49 351 2612-1099
E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de
www.smul.sachsen.de/lfulg

Autoren:

Volker Diegmann, Dr. Lina Neunhäuserer, Heike Wursthorn
IVU Umwelt GmbH
Emmy-Noether-Str. 2, 79110 Freiburg
Telefon: + 49 761 888512-0
Telefax: + 49 761 888512-12
E-Mail: volker.diegmann@ivu-umwelt.de
Heinz Steven
TÜV Nord Mobilität GmbH & Co. KG
Institut für Fahrzeugtechnik und Mobilität
Ginsterweg 5, 52146 Würselen
Telefon: + 49 2405 4555-0
Telefax: + 49 2405 4555-20
E-Mail: hsteven@tuev-nord.de

Redaktion:

Dr. Andrea Hausmann
LfULG, Abteilung Klima, Luft, Lärm, Strahlen/Referat Luftqualität
Söbrigener Str. 3a, 01326 Dresden
Telefon: + 49 351 2612-5100
Telefax: + 49 351 2612-5199
E-Mail: andrea.hausmann@smul.sachsen.de

Fotos:

BfUL, Landesvermessungsamt Sachsen (S. 38, 39)

Redaktionsschluss:

31.01.2011

ISSN:

1867-2868

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter <http://www.smul.sachsen.de/lfulg/6447.htm> heruntergeladen werden.

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern im Zeitraum von sechs Monaten vor einer Wahl zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.

Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die vorliegende Druckschrift nicht so verwendet werden, dass dies als Parteinahme des Herausgebers zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

Diese Beschränkungen gelten unabhängig vom Vertriebsweg, also unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl diese Informationsschrift dem Empfänger zugegangen ist. Erlaubt ist jedoch den Parteien, diese Informationsschrift zur Unterrichtung ihrer Mitglieder zu verwenden.